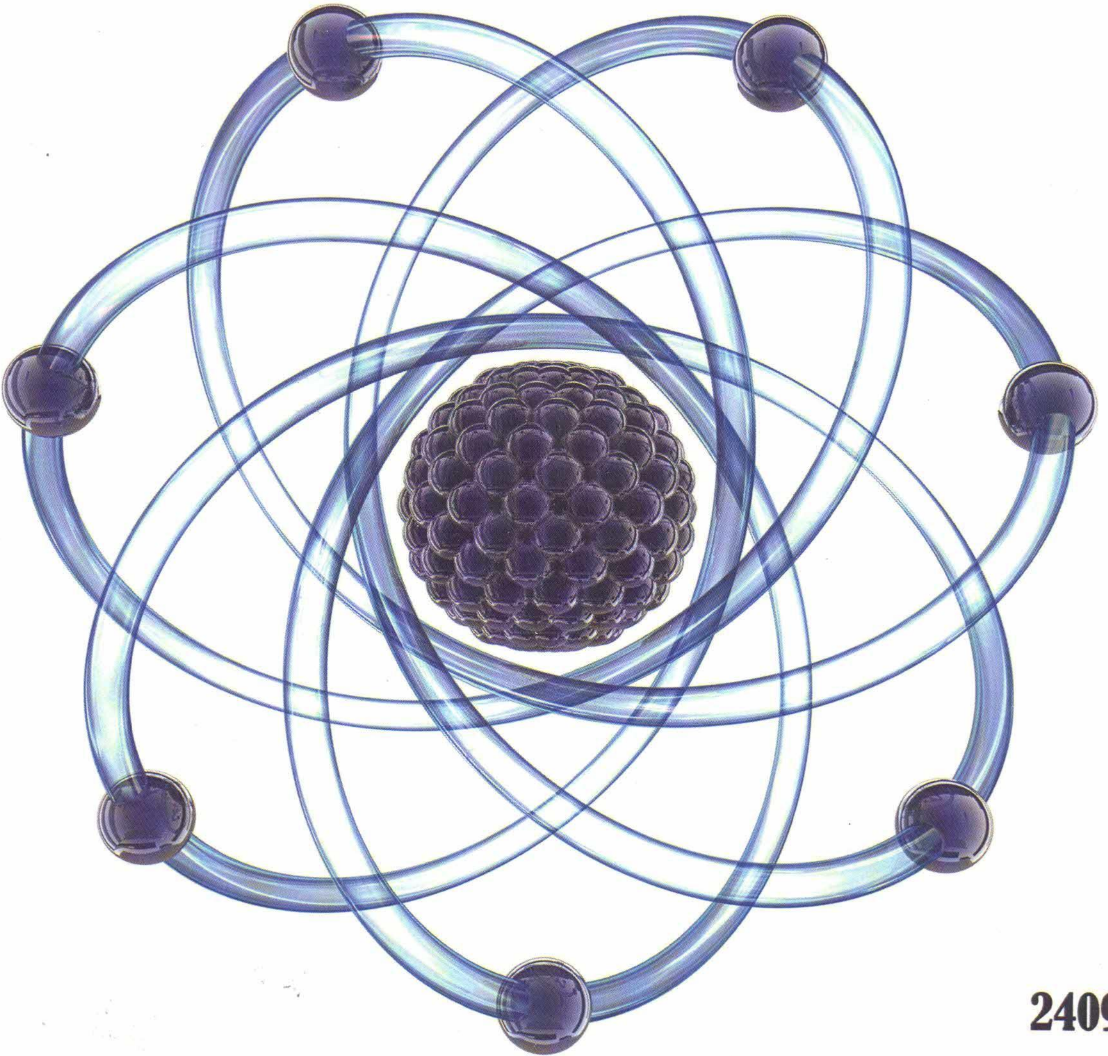
لي سمولن

مشكلة الفيزياء

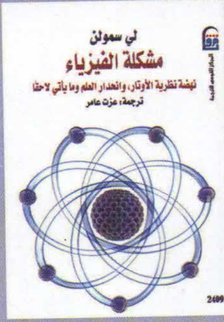
نهضة نظرية الأوتار، وانحدار العلم وما يأتي لاحقًا

ترجمة: عزت عامر

المركز القومي للترجمة



2409



هذا الكتاب المبدع يرى أن الفيزياء، وهي أساس كل العلوم الأخرى، فقدت طريقها. لأكثر من قرنين، اتسع فهمنا لقوانين الطبيعة بسرعة. لكن الآن، رغم أفضل جهودنا، لم نعد نعرف من هذه القوانين أكثر مما كنا نعرف في سبعينيات القرن الماضي. لماذا أصبحت الفيزياء في أزمة؟ وما الذي يمكننا فعله تجاه ذلك؟

إحدى المشكلات الرئيسية هي نظرية الأوتار، وهي محاولة طموحة لصياغة نظرية "كل شيء" التي تفسر الجسيمات والقوى في الطبيعة وكيف نشأ الكون. وبجسيماتها الجديدة الغريبة والأكوان المتوازية، استحوذت نظرية الأوتار على خيال الجمهور، وجذبت الكثير من علماء الفيزياء.

لكن، كما يكتشف هذا الكتاب، هناك خلل عميق في النظرية: لم يتم اختبار أي جزء منها، ولا يعرف أحد كيف يمكن اختبارها. وبالفعل، يبدو أن النظرية تأتي على هيئة عدد لا ينتهي من النسخ؛ مما يعني أنه لن تكون هناك أبداً أية تجربة للبرهنة على خطئها. وكنظرية علمية فإنها تفشل. ولأنها حصلت على نصيب الأسد في التمويل، فإنها جذبت أفضل العقول، وعاقبت علماء الفيزياء الشباب؛ لأنهم اتبعوا طرقًا أخرى، وهي تجر بقية الفيزياء إلى أسفل معها.

بوضوح وحماس ومسئولية يصف سمولن في هذا الكتاب نهوض نظرية الأوتار وسقوطها، ويلقي نظرة فاتنة على ما سيحل محلها. ولقد بدأت جماعة من علماء النظرية الشباب في تطوير أفكار مثيرة للاهتمام قابلة للاختبار، في ما لا يشبه نظرية الأوتار.

تصميم الغلاف: هانى الشناوى

مشكلة الفيزياء

نهضة نظرية الأوتار وانحدار العلم

وما يأتى لاحقًا

المركز القومى للترجمة
تأسس فى أكتوبر ٢٠٠٦ تحت إشراف: جابر عصفور
مدير المركز: أنور مغيث

- العدد: 2409
- مشكلة الفيزياء: نهضة نظرية الأوتار، وانحدار العلم وما يأتي لاحقا
- لي سمولن
- عزت عامر
- اللغة: الإنجليزية
- الطبعة الأولى 2016

هذه ترجمة كتاب:

THE TROUBLE WITH PHYSICS:

The Rise of String Theory, the Fall of a Science and What Comes Next

By: Lee Smolin

شارع الجبلاية بالأوبرا- الجزيرة- القاهرة. ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤
El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo.
E-mail: nctegypt@nctegypt.org Tel: 27354524 Fax: 27354554

مشكلة الفيزياء

نهضة نظرية الأوتار وانحدار العلم

وما يأتي لاحقًا

تأليف: لي سمولن

ترجمة: عزت عامر



2016

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

سمولن ، لي
مشكلة الفيزياء: نهضة نظرية الأوتار، وانحدار العلم وما يأتي لاحقًا/ تأليف لي سمولن؛ ترجمة: عزت عامر.
القاهرة - المركز القومي للترجمة ، ٢٠١٦
٦٢٤ ص ،٢٤ سم
١ - الفيزياء - نظريات
(أ) عامر، عزت (مترجم)
(ب) العنوان ٥٣٠,١

رقم الإيداع ٢٢٥٤٢ / ٢٠١٤
الترقيم الدولي: I.S.B.N - 978 - 977-718-966-8
طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

المحتويات

إلى كاي

كلمة المترجم

مؤلف هذا الكتاب، وهو عالم بارز في مجال الفيزياء النظرية، مصدوم بما آل إليه حال الفيزياء المعاصرة، ويغلب عليه الحنين إلى عصر الفيزياء الذهبي في النصف الأول من القرن العشرين، ويُرجع مأزق الفيزياء إلى هيمنة خبراء في نظرية الأوتار اصطنعوا جماعة من العلماء مغلقة على نفسها، ومنحازة إلى أفكارها التي تتسم بالمبالغة وعدم الخضوع للاختبارات التجريبية. ويرى أن الفيزياء تواجه الآن أزمة لم تشهدها من قبل.

ويصل به الأمر إلى الاستعانة بعلم الاجتماع لتفسير تحيز هذه الجماعة من العلماء الكبار، بل يضطر إلى إعادة تعريف ماهية العلم، بعد أن تلقى الضربة تلو الأخرى من التخمينات والنظريات التي لا تربط نفسها بالمقياس الوحيد للعلم، ألا وهو قدرته على التنبؤ وابتكار تجارب لإثبات صحة افتراضاته.

ويرى المؤلف أن "التخلي عن نظرية الأوتار لا يعني التخلي عن العلم، لكنه يعني فقط التخلي عن اتجاه واحد كان مفضلا ذات مرة وله فضل في تقدم ما كان مأمولا منه، لكي يتركز الانتباه على اتجاهات أخرى تبدو الآن مرجحة أكثر للنجاح".

ويتساءل، "ومن ثم، هل لا يزال من المجدي دراسة نظرية الأوتار، أو يجب إعلان فشلها، كما يقترح البعض؟ حقيقة أن آمالا كثيرة قد خابت، واستمرار الكثير من حالات الحدس المهمة بدون برهان قد يكون سببًا كافيًا

لدى البعض للتوقف عن العمل في نظرية الأوتار. لكنها ليست أسبابًا تجعل الأبحاث تتوقف تمامًا".

هناك أسباب جادة إذن لهذا الموقف من نظرية الأوتار، على رأسها ما يترتب على هيمنتها على الأبحاث من تبعات تضر العلم قبل أن تضر هذه النظرية.

"لذلك فإن نظرية الأوتار هي بالتأكيد بين الاتجاهات التي تستحق المزيد من التحقيق. لكن هل سوف يستمر النظر إليها باعتبارها نموذجا مهيمنا على الفيزياء النظرية؟ هل يجب أن يستمر أغلب الموارد موجهة صوب حل المشاكل المهمة في الفيزياء النظرية في دعم أبحاث نظرية الأوتار؟ وهل يجب أن تستمر المقاربات الأخرى تعاني الحرمان لصالح نظرية الأوتار؟ هل يجب أن يكون علماء نظرية الأوتار فقط هم المؤهلون للوظائف الأكثر رفعة ولمنح الأبحاث، كما هي الحالة الآن؟" ويرد على ذلك بلا، حيث لم تكن نظرية الأوتار ناجحة بما يكفي على أي مستوى لتبرر استثمار كل الموارد تقريبًا في مشروع واحد.

إحدى طرق وصف مشكلة الفيزياء هي القول بأنه لم يكن هناك أي عمل في فيزياء الجسيمات الأولية طوال العقود الثلاثة الماضية يراهن عليه لنيل جائزة نوبل. السبب هو أن من شروط الجائزة أن يتم مراجعة التقدم بواسطة التجربة. بالطبع، قد اتضح صحة أفكار مثل التماثل الفائق أو التضخم في بداية الكون بواسطة التجربة، وإذا كانت كذلك، سيستحق مبتكروها جوائز نوبل. لكننا لا نستطيع أن نقول الآن: إن اكتشاف أي فرضية حول الفيزياء

في ما وراء النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات تم التأكد من صحته. هذا الأسلوب التنافسي، الذي تقوده الموضة نجح عندما تزود بالاكتشافات التجريبية لكنه فشل عندما لم يكن هناك شيء يقود الموضة سوى آراء واختبارات قلة من الأفراد البارزين.

ورغم كل ذلك لا يفقد المؤلف الأمل في ثورة جديدة في العلم لا ينقصها الإبداع والاستبصار تمهد الطريق إلى حل المشاكل المزمنة في الفيزياء وتوحد بين كل القوى والجسيمات والموجات، لتسلح البشر بمعارف قادرة على فتح مغاليق أسرار الطبيعة.

عزت عامر

مقدمة

قد يكون – أو لا يكون– هناك رب أو أرباب. ومع ذلك هناك أمر معظم حول بحثنا عن ما هو إلهي. وأيضًا شيء ما يجعل الأمور إنسانية، ينعكس على المسارات التي اكتشفها الناس لكي تقودنا إلى مستويات أعمق للحقيقة. البعض يسعى إلى السمو في الوساطة الروحية أو الصلاة، ويسعى آخرون إلى خدمة رفاقهم من البشر، ويظل هناك آخرون، أولئك الذين يتمتعون بحسن الحظ الكافي لأن يكون لديهم موهبة، يبحثون عن السمو في ممارسة فن ما.

الطريقة الأخرى للمشاركة في أعمق أسئلة الحياة هي العلم. ليس أن كل عالم هو ساعٍ، فالأغلبية ليست كذلك. لكن في كل فرع علمي، هناك الذين تدفعهم العاطفة القوية إلى معرفة ما هو الأكثر حقا من الناحية الأساسية حول موضوعهم. لو كانوا علماء رياضيات لكانت لديهم الرغبة في معرفة ماهية الأعداد ونوع الحقيقة الذي تصفه الرياضيات. لو أنهم كانوا علماء بيولوجيا، لرغبوا في معرفة ماهية الحياة، وكيف بدأت. لو أنهم كانوا علماء فيزياء، لرغبوا في معرفة المكان والزمن، وما الذي جعل العالم يوجد. هذه الأسئلة الأساسية هي الأصعب في الإجابة عنها ويندر أن يكون التقدم فيها مباشرا. فقط لدى حفنة من العلماء الصبر للقيام بهذا العمل. إنه أكثر الأعمال مجازفة، لكنه يعطي أكبر عائد: عندما يجيب أحد عن سؤال ما حول أساسيات موضوع ما، يمكنه تغيير كل ما نعرف.

ولأن عملهم هو الإضافة إلى مخزوننا المتنامي للمعرفة، يقضي العلماء أيامهم وهم يواجهون ما لا يفهمونه. وأولئك العلماء الذين يعملون على أسس أي مجال محدد يكونون مدركين تمامًا أن لبنات البناء ليست برسوخ ما يميل زملاؤهم إلى تصديقه.

هذه هي قصة أحد المساعي لفهم الطبيعة في أعمق مستوياتها. أبطالها العلماء الذين يكدحون لتوسيع معلوماتنا عن القوانين الأساسية للفيزياء. الفترة الزمنية التي سأتناولها – تقريبًا منذ ١٩٧٥ – هي على امتداد مهنتي الاحترافية كعالم فيزياء نظرية. وقد تكون أغرب الفترات الزمنية وأكثرها إحباطًا في تاريخ الفيزياء منذ بدأ كبلر Kepler وجاليليو Galileo ممارسة حرفتنا منذ أربعمائة سنة.

القصة التي سأحكيها قد يقرأها شخص ما باعتبارها تراجيديا. للإقلال من حدتها – ولإعطائها ذروة هزلية – فشلنا. لقد ورثنا علمًا، هو الفيزياء، كان يتقدم بسرعة كبيرة عبر زمن طويل حتى إنه كان يتم اعتباره غالبًا نموذجًا لكيف يجب التعامل مع الأنواع الأخرى من العلم. ولأكثر من قرنين، حتى الوقت الراهن، اتسع فهمنا لقوانين الطبيعة بسرعة. لكن حاليًا، رغم أفضل جهودنا، ما نعرفه بالتأكيد عن هذه القوانين لم يعد سوى ما عرفناه سابقًا في السبعينيات.

كم هو غير عادي أن تمر ثلاثة عقود بدون تقدم رئيسي في الفيزياء الأساسية؟ حتى لو عدنا أكثر من مائتي عام، في زمن كان فيه العلم يتعلق

غالبًا بالهواة الأثرياء، فإن الأمر يبدو منقطع النظير. منذ القرن الثامن عشر على الأقل، كان يحدث التقدم المهم في المسائل المهمة كل ربع قرن.

في ١٧٨٠، عندما كانت التجارب الكيميائية الكمية لأنطوان لافوازييه Antoine Lavoisier تشير إلى أن المادة محفوظة، كانت قوانين الحركة والجاذبية لإسحاق نيوتن Issc Newton موجودة لما يقرب من مائة عام. لكن بينما كان نيوتن يعطينا إطارًا لفهم كل الطبيعة، كانت التخوم قد انفتحت واسعة. كان الناس قد بدأوا توا تعلم الحقائق الأساسية عن المادة، والضوء والحرارة، وكان قد تم تفسير ظواهر غامضة، مثل الكهرباء والمغناطيسية.

خلال السنوات الخمس والعشرين التالية، تم إحراز اكتشافات أساسية في كل من هذه المجالات. بدأنا نفهم أن الضوء موجة. واكتشفنا القانون الذي يحكم القوة بين الجسيمات المشحونة كهربائيا. وأنجزنا قفزات ضخمة في فهمنا للمادة مع النظرية الذرية لجون دالتون John Dalton. تم تقديم مفهوم الطاقة، وتم تفسير تداخل وانكسار الضوء بمصطلحات نظرية الموجة للضوء، وتم استكشاف المقاومة الكهربائية والعلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية.

ظهر الكثير من المفاهيم الأساسية المتضمنة في الفيزياء الحديثة في الربع القرن التالي، من ١٨٣٠ حتى ١٨٥٥. قدم مايكل فاراداي Michael Faraday تصور أن القوى تنتقل بواسطة المجالات، وهي فكرة استخدمها ليحدث تقدمًا كبيرًا في فهمنا للكهرباء والمغناطيسية. خلال نفس الفترة الزمنية، تم اقتراح حفظ الطاقة، كما هو حال القانون الثاني في الديناميكا الحرارية.

في الربع القرن التالي، تم تطوير الأفكار الرائدة لفاراداي حول المجالات بواسطة جيمس كلارك ماكسويل James Clerk Maxwell إلى نظريتنا الحديثة عن الكهرومغناطيسية. لم يوحد ماكسويل فقط الكهرباء والمغناطيسية، بل فسر الضوء باعتباره موجة كهرومغناطيسية. في ١٨٦٧، فسر سلوك الغازات بمصطلحات النظرية الذرية. وخلال نفس الفترة الزمنية، قدم رادولف كلاوسيوس Rudoif Clausius مفهوم الإنتروبيا entroy.

شهدت الفترة بين ١٨٨٠ و١٩٠٥ اكتشافي الإلكترونات والأشعة السينية. وتم تطوير الدراسة حول الإشعاع الحراري في عدة خطوات، مما أدى إلى اكتشاف ماكس بلانك Max Planck، في ١٩٠٠، للصيغة الصحيحة لوصف الخواص الحرارية للإشعاع – صيغة أدت إلى حث الثورة الكمية.

في ١٩٠٥، كان عمر ألبرت أينشتاين Albert Einstein ستة وعشرين عامًا. وكان قد فشل في الحصول على عمل أكاديمي رغم أن عمله المبكر في فيزياء الإشعاع الحراري وحده كان من الممكن تقديره باعتباره مساهمة رئيسية في العلم. لكن ذلك كان مجرد إحماء. ما أسرع ما صوب تجاه الأسئلة الأساسية للفيزياء: أولا، كيف يمكن الصلح بين نسبية الحركة وقوانين ماكسويل عن الكهرباء والمغناطيسية؟ أخبرنا عن ذلك في نظريته النسبية الخاصة. هل نفكر في العناصر الكيميائية باعتبارها ذرات نيوتنية؟ أثبت أينشتاين أن علينا فعل ذلك. كيف يمكننا المصالحة بين نظريات الضوء ووجود الذرات؟ أخبرنا أينشتاين بكيف يتم هذا، وذلك في العملية التي توضح

أن الضوء هو موجة وجسيم في نفس الوقت. كل هذا حدث في عام ١٩٠٥، زمن مختلس من عمله كفاحص براءات اختراع.

استغرق العمل في تبصرات أينشتاين الربع القرن التالي. وفي ١٩٣٠، كان لدينا النظرية النسبية العامة، التي أدت إلى القول الثوري بأن هندسة المكان ليست ثابتة لكنها تتطور مع الزمن. وكانت ازدواجية الموجة– الجسيم التي تم الكشف عنها بواسطة أينشتاين قد أصبحت في ١٩٠٥ نظرية كمية تم التحقق منها تمامًا، وهي التي أعطتنا فهمًا تفصيليًا حول الذرات، والكيمياء، والمادة والإشعاع. في ١٩٣٠، عرفنا أيضًا أن الكون يحتوي على أعداد هائلة من المجرات مثل مجرتنا، وعرفنا أنها تبتعد عن بعضها بعضا. لم تكن التضمينات قد اتضحت بعد، لكننا عرفنا أننا نعيش في كون متمدد.

مع تأسيس النظرية الكمية والنسبية العامة كجزء من فهمنا للعالم، انتهت المرحلة الأولى من ثورة القرن العشرين في الفيزياء. كان الكثير من البروفيسورات في الفيزياء، الذين لم يرتاحوا إلى الثورة في مجالات خبراتهم، يخففون عن أنفسهم بأن علينا العودة لإنجاز العلم بالطريقة العادية، بدون أن يكون علينا وضع افتراضاتنا الأساسية موضع التساؤل عند كل مفترق طرق. لكن راحتهم كانت قبل أوانها.

توفى أينشتاين في نهاية الربع القرن التالي، في ١٩٥٥. في ذلك الوقت كنا قد تعلمنا كيفية الجمع بين نظرية الكم والنظرية النسبية الخاصة بشكل متسق، وكان هذا هو الإنجاز العظيم لجيل فريمان دايسون Freeman Dyson ورتشارد فينمان Richard Feynman. لقد اكتشفنا النيوترون والنيوترينو

ومئات من الجسيمات الأساسية الأخرى بوضوح. وفهمنا أيضًا أن عددًا ضخمًا من الظواهر في الطبيعة يحكمها فقط أربع قوى: الكهرومغناطيسية، والجاذبية، والقوة النووية الشديدة (التي تمسك النوى الذرية معًا)، والقوة النووية الضعيفة (المسئولة عن التحلل الإشعاعي).

ربع قرن آخر نقلنا إلى ١٩٨٠. عندئذ كنا قد أنشأنا نظرية تفسر نتائج كل التجارب على الجسيمات الأولية والقوى المعروفة في ذلك الوقت – وهي نظرية أُطلق عليها النموذج المعياري standard model لفيزياء الجسيم الأولي. على سبيل المثال، يخبرنا النموذج المعياري على وجه الدقة بكيفية تكوين البروتونات والنيوترونات من الكواركات، التي تمسك بها الجلوونات معًا، وهي حاملات القوة النووية الشديدة. ولأول مرة في تاريخ الفيزياء الأساسية، تلحق نظرية بالتجربة. لم يجر أحد منذ ذلك الحين أية تجربة لم تكن متسقة مع النموذج أو مع النسبية العامة.

بالانتقال من بالغ الصغر إلى بالغ الكبر، تمتد معارفنا في الفيزياء الآن إلى علم الكون الجديد، حيث أصبحت نظرية الانفجار الكبير هي وجهة النظر التي تحظى بإجماع عام. تحققنا من أن كوننا يحتوي ليس فقط على نجوم ومجرات، ولكن على أجرام غريبة مثل نجوم النيوترون، الكوازار (أشباه النجوم)، والسوبرنوفا، والثقوب السوداء. في ١٩٨٠، كان ستيفن هاوكنج Stephen Hawking قد قدم بالفعل التنبؤ الغريب بأن الثقوب السوداء تشع. وكان لدى علماء الفلك أيضًا دليل على أن الكون يحتوي على كمية كبيرة من المادة المظلمة – أي المادة على هيئة لا تبعث بالضوء ولا تعكسه.

في ١٩٨١، اقترح عالم الكونيات ألان جوث Alan Guth سيناريو لنفس التاريخ المبكر للكون ووصفه بأنه التضخم inflation. بالقول التقريبي، تؤكد نظريته على أن الكون مر خلال تدفق مفاجئ من النمو الهائل المتطرف في بداية حياته، وهو ما يفسر سبب أن الكون هو نفسه إلى حد ما في كل اتجاه. تقدم نظرية التضخم تنبؤات تبدو مثيرة للشك، حتى بدأ الدليل يتأرجح حولها منذ عقد مضى. حتى وقت هذه الكتابة، ظلت هناك بعض الألغاز، لكن الجزء الأعظم من الأدلة يدعم تنبؤات التضخم.

لذلك، في ١٩٨١، كانت الفيزياء قد تمتعت بمائتي عام من النمو المتفجر. عمّق اكتشاف بعد اكتشاف فهمنا للطبيعة، لأنه في كل حالة كانت النظرية والتجربة يسيران في توافق معًا. تم اختبار أفكار جديدة وتمت البرهنة على صحتها وتم تفسير اكتشافات تجريبية جديدة بمصطلحات النظرية. عندئذ، في بداية الثمانينيات، ثبتت الأمور في مكانها.

أنا عضو في أول جيل من علماء الفيزياء الذين تعلموا منذ تم تأسيس النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات. عندما قابلت أصدقاء قدامى من الجامعات ومعاهد التأهيل، كنا نسأل بعضنا بعضا أحيانًا، "ما الذي اكتشفناه ليجعل جيلنا يفخر به؟". لو كنا نعني اكتشافات أساسية، أثبتتها التجربة وفسرتها النظرية – اكتشافات على مقياس تلك التي أشرنا إليها توا – تكون الإجابة، كما يجب علينا أن نعرف، "لا شيء!". مارك وايز Mark Wise عالم نظريات رائد يعمل في فيزياء الجسيمات حسب النموذج المعياري. في حلقة بحث حديثة في معهد بيرمتر للفيزياء النظرية، في واترلو، أونتاريو، حيث

أعمل، تحدث حول مشكلة مصدر كتل الجسيمات الأولية. "لم نكلل بالنجاح إلى حد كبير في حل هذه المشكلة"، قال. "لو كان علينا أن نلقي كلمة حول مشكلة كتلة الفرميون الآن، ربما انتهى بي الأمر إلى حكاية قصة حول أشياء كانت لديّ في الثمانينيات". واصل كلامه ليحكي قصة حول وقت وصوله هو وجون بريسكيل John Preskill، عالم نظريات رائد آخر، إلى كالتيك في ١٩٨٣، للالتحاق بهيئة الأساتذة. (أنا وجون بريسكيل كنا نجلس معًا في مكتبه، نتحدث... أنت تعرف، كان أرباب الفيزياء في كالتيك، والآن نحن هنا! قال جون، "لست في طريقي إلى نسيان ما المهم الذي يجب العمل عليه". لذلك أخذ ما كان معروفًا حول كتلتي الكوارك واللبتون، وكتبهما في صفحة صفراء من الورق ولصقها على لوحة الإعلانات لديه... هذا لكي لا ننسى العمل عليهما. بعد خمسة عشر عامًا، أتيت إلى مكتبه.. وكنا نتحدث حول شيء ما، ونظرت إلى لوحة الإعلانات لديه و[لاحظ ذلك] كانت صفحة الورق هذه لا تزال هناك لكن الشمس كانت قد جعلت كل ما كان مكتوبًا عليها باهتًا. وهكذا انتهت المشكلة!".

من باب النزاهة، كنا قد توصلنا إلى اكتشافين تجريبيين في العقود القليلة الماضية: أن لجسيمات النيوترينو كتلة، وأن الكون تهيمن عليه طاقة مظلمة غامضة يبدو أنها تقوم بتسريع تمدده. لكن لم يكن لدينا أية فكرة حول سبب أن لجسيمات النيوترينو (أو أي من الجسيمات الأخرى) كتلة أو ما يفسر قيمة كتلتها. بالنسبة للطاقة المظلمة، لم يكن قد تم تفسيرها بمصطلحات أية نظرية موجودة. لذلك لا يمكن اعتبار اكتشافها ناجحًا، لأنها تفترض أن

هناك حقيقة ما رئيسية نفقدها جميعًا. وباستثناء الطاقة المظلمة، لم يتم اكتشاف أي جسيم جديد، ولم يتم الوصول إلى أي قوة جديدة، ولا ظاهرة جديدة لقاء ما كان معروفًا ومفهومًا منذ خمس وعشرين سنة مضت.

لا تفهمني بشكل خاطئ. لأننا في السنوات الخمس والعشرين الماضية كنا مشغولين جدًا بالتأكيد. كان هناك تقدم هائل في تطبيق النظريات الراسخة على الموضوعات المختلفة: خواص المواد، والفيزياء الجزيئية المتضمنة في البيولوجيا، وديناميكا المجموعات الهائلة من النجوم. لكن عندما يتعلق الأمر بالتوسع في معارفنا حول قوانين الطبيعة، فإننا لم ننجز أي تقدم حقيقي نحو الهدف. تم استكشاف الكثير من الأفكار الجميلة، وتم إجراء تجارب مسارعات جسيمات مهمة وأرصاد كونية، لكن كل هذا كان يخدم من الناحية الأساسية البرهنة على صحة النظريات الموجودة. كانت هناك بضع قفزات إلى الأمام، ولم يكن أي منها بوضوح أو أهمية تلك التي تمت في المائتي عام الماضية. عندما يحدث شيء مثل هذا في مجالي الرياضة أو الأعمال، يوصف بأنه كمن ينطح صخرة.

لماذا يحدث فجأة أن تكون الفيزياء في مشكلة؟ وما الذي يمكننا فعله تجاهها؟ هذان هما السؤالان الأساسيان في كتابي.

أنا متفائل بالطبيعة، ولمدة زمنية طويلة ناضلت ضد الاستنتاج بأن هذه الفترة الزمنية في الفيزياء – فترة ممارستي لمهنتي الخاصة – كانت فترة خاملة غير عادية. بالنسبة لي وللكثير من أصدقائي الذين دخلوا إلى العلم بأمل القيام بمساهمات مهمة لما كان عندئذ مجال متحرك بسرعة، هناك

حقيقة صادمة علينا أن نسميها: فيما لا يشبه أي جيل سابق، لم ننجز أي شيء يمكن أن نثق أنه سوف يعمر أبعد من حياتنا. وأدى هذا إلى ظهور أزمات شخصية. لكن، الأكثر أهمية، هو أنه أنتج أزمة في الفيزياء.

التحدي الأساسي بالنسبة لفيزياء الجسيمات النظرية خلال العقود الثلاثة الماضية كان تفسير النموذج المعياري بشكل أكثر عمقًا. وفي ذلك كان هناك الكثير من النشاط. تم اقتراح واستكشاف نظريات جديدة، وبعضها بتفاصيل كثيرة، لكن لم يتم إثبات صحة أي منها تجريبيًا. وهنا النقطة الحاسمة في المشكلة – والتي تختلف عن ما نشأ عن النظريات السابقة – لأنه لم يتم إجراء أية تجربة حتى الآن. ولكي تكون التجربة ذات معنى، يجب أن يكون في قدرتي الحصول على إجابة لا تتفق مع هذا التنبؤ. في هذه الحالة نقول إن النظرية قابلة للدحض falsifiable – معرضة لأن يتضح خطأها. ويجب أن تكون النظرية أيضًا قابلة للبرهنة على صحتها confirmable، يكون من الممكن إثبات صحة تنبؤ جديد تستطيع هذه النظرية فقط تقديمه. فقط عندما يتم اختبار نظرية ما وتتفق النتائج مع النظرية نستطيع ترقية النظرية إلى درجات النظريات الحقيقية.

نشأت الأزمة الحالية في فيزياء الجسيمات عن حقيقة أن النظريات التي تجاوزت النموذج المعياري في السنوات الثلاثين الماضية تأتي على هيئة صنفين. كان بعضها قابلاً للدحض، وتم دحضها. ولم يتم اختبار البقية – سيان لأنها لم تقدم أي تنبؤ نقي أو لأن التنبؤات التي قدمتها لا يمكن اختبارها بالتقنية الراهنة.

وخلال العقود الثلاثة الماضية، اقترح علماء النظريات ما يقرب من عشر مقاربات على الأقل. يحفز كل مقاربة فرضية مسيطرة، لكن لم ينجح أي منها حتى الآن. في عالم فيزياء الجسيمات، هذا يتضمن التكنيكلر Technicolor، ونماذج البريون، والتماثل الفائق. في عالم الزمكان، يتضمن نظرية تجهيزة اللف twister، والمجموعات السببية، والجاذبية الفائقة، والتثليث الديناميكي والجاذبية الكمية للأنشوطة loop quantum gravity. بعض من هذه الأفكار بالغرابة التي تبدو عليها.

جذبت إحدى النظريات الانتباه أكثر من كل النظريات الأخرى متحدة: نظرية الأوتار. ليس من الصعب فهم أسباب انتشارها. فهي تدعي أنها تصف بشكل صحيح ما هو كبير وما هو صغير – كلا من الجاذبية والجسيمات الأولية – ولكي تفعل ذلك، تضع أكثر الفرضيات شجاعة من بين كل النظريات: تفترض أن العالم يحتوي على أبعاد لم تتم رؤيتها بعد وجسيمات أكثر مما هو معروف حاليا. في نفس الوقت، تقترح أن كل الجسيمات الأولية تنبثق عن ذبذبات لهوية مفردة – وتر – يخضع لقوانين بسيطة وجميلة. تزعم أنها النظرية الوحيدة التي توحد كل الجسيمات وكل القوى في الطبيعة. وبصفتها هذه، فإنها تعد بأن تقدم تنبؤات بارعة وغير مبهمة بالنسبة لأي تجربة لم يتم إجراؤها حتى الآن ولا يمكن إجراؤها في أي وقت. تم بذل الكثير من المجهودات في نظرية الأوتار في السنوات العشرين الماضية، لكننا لا زلنا لا نعرف ما إذا كانت صحيحة أم لا. حتى بعد كل هذا العمل، لا تقدم النظرية أية تنبؤات جديدة يمكن اختبارها بالتجارب الحالية – أو حتى

التجارب التي يمكن فهمها. والتنبؤات القليلة الماهرة التي قدمتها تمت صياغتها بالفعل بواسطة نظريات أخرى مقبولة جيدًا.

جزء من سبب أن نظرية الأوتار لا تقدم تنبؤات جديدة هو أنها تأتي على ما يبدو في عدد لا ينتهي من الأشكال. حتى لو قيدنا أنفسنا بالنظريات التي تتفق مع بعض الحقائق المرصودة الأساسية حول الكون، مثل حجمه الهائل ووجود الطاقة المظلمة، يبقى لدينا نحو ١٠^٥٠٠ نظرية أوتار مميزة – أي ١ مع ٥٠٠ صفر بعده، وهو أكثر من كل الذرات في الكون المعروف. مع كل هذا العدد الهائل من النظريات، لا يوجد سوى أمل ضئيل في أننا نستطيع تعيين هوية نتيجة تجربة ما قد لا تكون شاملة لأي منها. هكذا، أيا كان ما توضحه التجربة، لا يمكن دحض نظرية الأوتار. لكن العكس صحيح أيضًا: لن تستطيع أية تجربة في أي وقت إثبات أنها صحيحة.

في نفس الوقت، كنا نفهم القليل جدا عن أغلب نظريات الأوتار هذه. ومن العدد الصغير الذي نفهم عنه أية تفاصيل، كانت كل نظرية بمفردها تخالف البيانات التجريبية الراهنة، عادة بطريقتين على الأقل.

لذلك واجهنا تناقضًا. نظريات الأوتار التي نعرف كيف ندرسها من المعروف عنها أنها خاطئة. وتلك التي لا يمكننا دراستها يُظن بأنها موجودة بعدد هائل حتى إنه لا يمكن لأى تجربة محتملة أن تخالفها جميعًا في أي وقت.

لم تكن تلك هي المشاكل الوحيدة. تقوم نظرية الأوتار على عدة تخمينات مهمة، لبعضها دليل لكن لا يوجد إثبات. بل الأسوأ، بعد كل الجهد

العلمي المبذول لدراستها، لا زلنا لا نعرف ما إذا كانت هناك نظرية كاملة ومتماسكة يمكنها حتى أن تأخذ اسم "نظرية أوتار". ما لدينا، بالفعل، ليس نظرية بالمرة ولكن مجموعة كبيرة من الحسابات التقريبية، مع شبكة من التخمينات التي تشير، لو كانت صحيحة، إلى وجود نظرية. لكن هذه النظرية لم يتم قط كتابتها بالفعل. لا نعرف ما هي مبادئها الأساسية. لا نعرف اللغة الرياضية التي يجب استخدامها للتعبير عنها – ربما يجب اختراع لغة جديدة لوصفها. وبنقص كل من المبادئ الأساسية والصياغة الرياضية لا يمكننا القول بأننا عرفنا في أي وقت ما تجزم به نظرية الأوتار.

فيما يلي كيف وضعها عالم نظريات نظرية الأوتار بريان جرين Brian Greene في آخر كتبه، "نسيج الكون": "حتى في يومنا هذا، أكثر من ثلاثة عقود في التعبير عنها بشكل أولي، يعتقد أغلب ممارسي العمل على نظرية الأوتار أنه ليست لديهم إجابة شاملة عن السؤال حول المبادئ الأولية، ما نظرية الأوتار؟.. ويشعر [أغلب] الباحثون بأن صياغتنا الحالية لنظرية الأوتار لا يزال ينقصها نوع من المبدأ الجوهري الذي نجده في قلب التطورات الرئيسية الأخرى"(٢).

جيرارد تهوفت Gerard `t Hooft الحائز على جائزة نوبل عن عمله في فيزياء الجسيمات الأولية، قام بوصف حالة نظرية الأوتار بهذه الطريقة: "بالفعل، لست مستعدا حتى لتسمية نظرية الأوتار "نظرية"، ولكن بالأحرى "نموذج"، وربما ليست كذلك: إنها مجرد حس باطني. على أي حال، يجب أن تأتي النظرية بتعليمات حول كيفية التعامل معها للتعريف بالأشياء التي

نرغب في وصفها، وأن تكون قادرة على صياغة قواعد لحساب خواص هذه الجسيمات، وعلى كيفية تقديم تنبؤات عنها. تخيل أنني أعطيتك كرسيا، بينما أوضحت لك أن سيقانه لا تزال مفقودة، وأن هناك مقعدًا، له ظهر ومساند للأذرع ربما يتم توفيره قريبًا. مهما يكن ما قدمته إليك، هل يمكن الاستمرار في تسميته كرسي؟"(٣).

دافيد جروس David Gross، الذي كلل بالفوز بنوبل عن عمله على النموذج المعياري، أصبح منذ ذلك الحين أحد أبطال نظرية الأوتار الأكثر عدوانية وإثارة للفزع. ورغم ذلك أنهى مؤتمرًا حديثًا كان يهدف إلى الإعلان عن تقدم النظرية بأن قال: "لا نعرف ما نتحدث عنه... حالة الفيزياء اليوم تشبه ما كانت عليه عندما كنا مرتبكين بالنشاط الإشعاعي.. كانوا يفتقدون إلى شيء ما أساسي تمامًا. ربما نفتقد إلى شيء ما بعمق ما كانوا يراهنون عليه حينئذ"(٤).

لكن رغم أن نظرية الأوتار غير مكتملة إلى حد أن وجودها نفسه مجرد تخمين لم تتم البرهنة على صحته بعد، فإن ذلك لا يمنع الكثيرين ممن يعملون عليها من الاعتقاد بأنها الطريق الوحيد للتقدم في الفيزياء النظرية. أحد البارزين في نظرية الأوتار، جوزيف بولشنسكي Joseph Polchinski، من معهد كافلي للفيزياء النظرية في سانتا باربارا، طُلب منه منذ وقت بعيد أن يلقي محاضرة حول "بدائل نظرية الأوتار". كان أول رد فعل له، أن قال: "هل كان الأمر سخيفًا هكذا، ليس هناك أي بدائل.. كل الأفكار الجيدة هي جزء من نظرية الأوتار".(٥) لابوس موتل Lubos Motl، مساعد بروفيسور

في هارفادر، أكد حديثًا على موقعه بأن "السبب الأكثر ترجيحًا عن سبب أن... شخصًا ما قد أقنع آخرين ببديل لنظرية الأوتار هو أنه ربما لا يكون هناك أي بديل لنظرية الأوتار"(٦).

ما الذي يحدث هنا؟ في العلم عادة يعني المرء شيئًا محددًا تمامًا بكلمة نظرية. ليزا راندال Lisa Randall، عالمة نظريات الجسيمات ذات النفوذ وزميلة موتل في هارفارد، تعرّف "النظرية" بأنها "إطار فيزيائي محدد يتجسد في مجموعة من الافتراضات الأساسية حول العالم - وإطار اقتصادي يشمل تشكيلة واسعة من الظواهر. ينتج عن النظرية مجموعة محددة من المعادلات والتنبؤات - تلك التي تثبت صحتها بالاتفاق الناجح مع النتائج التجريبية"(٧).

نظرية الأوتار لا تتطابق مع هذا الوصف - على الأقل لم يحدث هذا بعد. كيف يحدث، من ثم، أن بعض الخبراء متأكدون من عدم وجود بديل لنظرية الأوتار، لو كانوا لا يعرفون على وجه الدقة ماهيتها؟ ما هو بالضبط الذي هم متأكدون من عدم وجود أي بديل له؟ هذا بعض من الأسئلة التي قادتني إلى كتابة هذا الكتاب.

الفيزياء النظرية صعبة جدًا. بالغة الصعوبة. ليس لأن كمية محددة من الرياضيات متضمنة فيها ولكن لأنها تحتوي على مخاطر كبيرة. كما سنرى المرة تلو الأخرى ونحن نفحص قصة الفيزياء المعاصرة، فإن هذا النوع من العلم لا يمكن إنجازه بدون مخاطر. لو عمل عدد كبير من الناس على سؤال ما سنوات كثيرة وظلت الإجابة مجهولة، قد يعني هذا أن الإجابة ليست سهلة أو واضحة. أو قد لا تكون هناك إجابة عن هذا السؤال.

نظرية الأوتار، طالما كانت مفهومة، تفترض أن العالم مختلف تمامًا عن العالم الذي نعرفه. لو كانت نظرية الأوتار صحيحة، يكون للعالم المزيد من الأبعاد والمزيد من الجسيمات والقوى أكثر مما رصدناه حتى الآن. يكتب الكثير من علماء نظرية الأوتار ويتحدثون كما لو أن وجود هذه الأبعاد والجسيمات الإضافية حقيقة مؤكدة، حقيقة لا يمكن لأي عالم مؤهل أن يشك فيها. ولأكثر من مرة، قال عالم نظرية أوتار إن أي شيء مثل "لكن هل معنى هذا أنك تظن أنه من الممكن ألا يكون هناك أبعاد إضافية؟". في الحقيقة، لا تقدم النظرية أو التجربة أي دليل بالمرة على وجود أبعاد إضافية. أحد أهداف هذا الكتاب توضيح غموض مزاعم نظرية الأوتار. الأفكار جميلة ومحفزة بشكل جيد. لكن لفهم سبب أنها لم تؤد إلى تقدم أكبر، يجب أن نكون واضحين بدقة حول ما يدعمه الدليل وما يفتقده حتى الآن.

ولأن نظرية الأوتار مغامرة بهذه الدرجة العالية من المخاطر – غير مدعمة بالتجربة، رغم أنها مدعمة بسخاء من الجماعات الأكاديمية والعلمية– هناك فقط طريقتان يمكن أن تنتهي القصة بهما. لو اتضح أن نظرية الأوتار صحيحة، فسوف يتضح أن علماء نظرية الأوتار هم الأبطال الأكثر عظمة في تاريخ العلم. على أساس حفنة من الأدلة – لم يحدث لأي منها قراءة غير ملتبسة – كان عليهم اكتشاف أن الواقع أكثر ضخامة بكثير مما تم تخيله سابقًا. اكتشف كولومبس Columbus قارة جديدة مجهولة لملك وملكة إسبانيا (بينما كان ملوك إسبانيا مجهولين لدى سكان العالم الجديد). واكتشف جاليليو نجومًا وأقمارًا جديدة، واكتشف علماء الفلك فيما بعد كواكب جديدة. كل هذا

يشحب في مواجهة اكتشاف أبعاد جديدة. يضاف إلى ذلك، أن الكثير من علماء نظرية الأوتار يعتقدون أن عددًا ضخمًا من العوالم التي يصفها عدد كبير من نظريات الأوتار موجودة بالفعل – كما هو حال الأكوان الأخرى التي من المستحيل أن نراها مباشرة. لو كان هذا صحيحًا، فإننا نرى القليل جدًا من الواقع أقل مما رأته أية جماعة من سكان الكهوف على الأرض. لم يخمن أي شخص أبدًا في التاريخ البشري بشكل صحيح مثل هذا التمدد الضخم في العالم المعروف.

من جانب آخر، لو أن نظريات الأوتار كانت خاطئة، لن يكون ذلك مجرد خطأ ضئيل. لو أن الأبعاد والتماثلات الجديدة غير موجودة، عندئذ سوف نعتبر علماء نظرية الأوتار من بين العلماء الأعظم فشلا، مثل أولئك الذين استمروا في العمل على أفلاك تدوير بطليموس، بينما كان كبلر وجاليليو قد شقا طريقهما مقدمًا. وستكون أعمالهما حكاية تحذيرية حول كيفية عدم إنجاز العلم، وكيفية عدم ترك تخمين نظري يتخطى حدود ما يمكن قوله منطقيا بأن المرء بدأ يتورط في الخيال.

إحدى نتائج نهضة نظرية الأوتار هي أن جماعة الأشخاص الذين يعملون في الفيزياء الأساسية حدث فيها انشقاق. استمر الكثير من العلماء في العمل على نظرية الأوتار، وربما وصل عدد من حصلوا على جوائز سنويا للعمل في هذا المجال خمسين ممن يحملون شهادات دكتوراه الفلسفة الجديدة. لكن هناك البعض من علماء الفيزياء مصابون بشك عميق – إما لا يوافقون على الموضوع أبدًا أو أنهم كفوا الآن عن انتظار إشارة بأن النظرية لها

صياغة متسقة أو تقدم تنبؤا تجريبيا حقيقيا. لم يكن الانشقاق وذوذا دائمًا. تم التعبير عن الشكوك على الجانبين حول الكفاءة المهنية والمعايير الأخلاقية لدى الآخرين، وإنه لعمل حقيقي المحافظة على الصداقات عبر الانقسام.

تبعًا لصورة العلم التي تعلمناها جميعًا في المدارس، ليس من المتوقع حدوث مثل هذه المواقف. الموضوع الشامل للعلم الحديث، كما تعلمنا، هو أن هناك منهجًا يقود إلى التقدم في فهمنا للطبيعة. المعارضات والتناقض ضرورية بالطبع بالنسبة للعلم لكي يتقدم، لكن من المتوقع دائمًا وجود طريقة ما لحل الخلاف بوسائل تجريبية أو رياضية. مع ذلك، في حالة نظرية الأوتار يبدو أن هذه الآلية قد تعطلت. الكثير من أنصار ونقاد نظرية الأوتار على درجة كبيرة من اليقين بوجهات نظرهم حتى إنه من الصعب حدوث مناقشة ودية في الموضوع، حتى بين الأصدقاء. "كيف لا يمكنك رؤية جمال النظرية؟ كيف يمكن لنظرية أن تفعل كل ذلك ولا تكون صحيحة؟" يقول علماء نظرية الأوتار. أثار ذلك رد فعل ملتهبا بالمثل من النقاد: "هل فقدت عقلك؟ كيف يمكنك التصديق بكل هذه القوة بأية نظرية في الغياب الكامل للاختبار التجريبي؟ هل نسيت كيف من المتوقع أن ينجح العلم؟ كيف يمكن أن تكون متأكدًا إلى هذه الدرجة بأنك على حق بينما لا تعرف حتى ماهية النظرية؟".

كتبت هذا الكتاب على أمل أن يساهم في مناقشة صادقة ومفيدة بين الخبراء والقراء العاديين بالمثل. رغم ما رأيته في السنوات القليلة الماضية، لا يزال لدي إيمان بالعلم. أعتقد أن قدرة المجتمع العلمي على تجاوز العداء الحاد وحل التناقض من خلال الجدل المنطقي يقوم على الدليل الموجود

أمامنا. أنا منتبه إلى أنه بطرح هذه الموضوعات فحسب، سوف أغضب بعضًا من أصدقائي وزملائي الذين يعملون على نظرية الأوتار. يمكنني فقط أن أصر على أنني أكتب هذا الكتاب ليس لمهاجمة نظرية الأوتار أو أولئك الذين يؤمنون بصحتها ولكن بعيدًا عن الإعجاب بهم، وفوق كل شيء، كتعبير عن الولاء للمجتمع العلمي لعلماء الفيزياء.

لذلك ليس هذا كتاب عن "نحن" في مواجهة "هم". خلال مهنتي، عملت على كل من نظرية الأوتار والمقاربات الأخرى في الجاذبية الكمية (التسوية بين نظرية النسبية العامة لأينشتاين والنظرية الكمية). حتى لو كان أغلب مجهوداتي قد تم بذلها حول المقاربات الأخرى هذه، كانت هناك فترات زمنية كنت أعتقد خلالها بحماس بصحة نظرية الأوتار وكرست نفسي لحل مشاكلها المهمة. بينما لم أستطع حلها، كتبت ثمانية عشر بحثًا حول الموضوع، ومن ثم، فإن الأخطاء التي سأناقشها هي أخطائي أكثر من كونها أخطاء أي شخص آخر. سوف أتحدث عن التخمينات التي كان من المعتقد على نطاق واسع أنها صحيحة، رغم أنه لم يتم إثباتها قط. لكنني كنت من بين المصدقين، واتخذت اختيارات حول بحثي قامت على هذه المعتقدات. سوف أتحدث عن الضغوط التي يشعر العلماء الشباب بأنها موضوعات رئيسية تطاردهم يقرها الاتجاه السائد لكي تكون مهنة لائقة. شعرت بهذه الضغوط أنا نفسي، ومرت بي أوقات تركت خلالها مهنتي تتوجه تبعًا لهذه الضغوط. الصراع بين الحاجة إلى إنجاز تقديرات علمية بشكل مستقل وإنجازها بطريقة لا تجعلك منبوذًا عن الاتجاه السائد هو صراع مر بي أنا أيضًا.

أكتب هذا الكتاب ليس لنقد العلماء الذين قاموا باختيارات مختلفة عن اختياراتي ولكن لفحص سبب أن العلماء يحتاجون على أي حال إلى مواجهة مثل هذه الاختيارات.

في الواقع، احتجت إلى وقت طويل لكي أقرر كتابة هذا الكتاب. لا أحب شخصيا الصراع والمواجهة. وعلى أي حال، في نوع العلم الذي ننجزه، يكون أي شيء يستحق أن نفعله مغامرة وكل ما يهم بالفعل هو ما يراه طلاب طلابنا يستحق أن يتم تعليمه لطلابهم بعد خمسين عامًا في المستقبل. احتفظت بالأمل في أن شخصًا ما في مركز أبحاث نظرية الأوتار سيكتب نقدًا موضوعيا وتفصيليا عن ما تم إنجازه بالضبط وما لم يتم إنجازه بواسطة هذه النظرية. ولم يحدث ذلك.

أحد أسباب جعل هذه الموضوعات عامة يعود إلى الجدل الذي حدث منذ بضع سنوات بين العلماء و"البنيويين الاجتماعيين"، وهي مجموعة من بروفيسورات العلوم الإنسانية والعلوم الاجتماعية، حول كيفية إنجاز العلم. يزعم البنيويون الاجتماعيون بأن المجتمع العلمي لم يعد منطقيا أو موضوعيا أكثر من أي جماعة أخرى من الكائنات البشرية. ليست هذه هي الطريقة التي يرى بها أغلب العلماء العلم. نقول لطلابنا بأن تصديق أية نظرية علمية يجب أن يقوم دائمًا على تقييم موضوعي للدليل. خصومنا في النزاع يرون أن مزاعمنا حول كيفية إنجاز العلم كانت دعاية مصممة من الناحية الأساسية لتخويف الناس من إعطائنا سلطة، وأن المشروع العلمي في مجمله كان مدفوعًا بنفس القوى السياسية والاجتماعية التي قادت الناس في المجالات الأخرى.

أحد الأدلة الرئيسية التي نستخدمها نحن العلماء في هذا النزاع هو أن جماعتنا كانت مختلفة لأننا نحكم أنفسنا تبعًا لمعايير عالية – معايير منعتنا من احتضان أية نظرية حتى يتم البرهنة على صحتها، بواسطة حسابات وبيانات تجريبية يتم نشرها، بعيدة عن الشك في الكفاءة المهنية. وكما سأروي ببعض التفاصيل، لا تكون الحالة هكذا دائمًا في نظرية الأوتار. رغم غياب الدعم التجريبي والصياغة الدقيقة، يعتقد بعض من أنصارها بالتأكيد أنها تبدو عاطفية أكثر من كونها منطقية.

أدى الترويج المتسارع لنظرية الأوتار إلى أنها أصبحت وسيلة أساسية لاستكشاف المسائل الكبيرة في الفيزياء. تقريبًا كل عالم نظري في مجال الجسيمات ذو موقع دائم في معهد الدراسات المتقدمة المهيب، بما في ذلك المدير، هو عالم في نظرية الأوتار، والاستثناء هو شخص تم توظيفه منذ عقود مضت. ونفس الأمر صحيح بالنسبة لمعهد كافلي للفيزياء النظرية. ثماني من تسع منح ماك آرثر التي تم منحها لعلماء جسيمات منذ بداية البرنامج في ١٩٨١ ذهبت أيضًا إلى علماء نظرية الأوتار. وفي أقسام فيزياء القمة في البلد (بيركلي، وكالتيك، وهارفارد، ومعهد مساشوسيتس للتكنولوجيا، وبرنستون وستانفورد)، عشرين من بين اثنين وعشرين تولوا مناصب بروفيسورات فيزياء الجسيمات الذين حصلوا على شهادات دكتوراه فلسفة بعد ١٩٨١، أقاموا سمعتهم الحسنة على نظرية الأوتار أو مقاربات قريبة من ذلك.

لنظرية الأوتار الآن مكانة مهيمنة في الوسط الأكاديمي حتى إنه من الانتحار في المهنة العملية لعالم فيزياء نظري شاب ألا ينضم لهذا المجال. حتى في المجالات التي لا تقدم فيها نظرية الأوتار، أي تنبؤات، مثل علم الكون وفينومينولوجيا الجسيمات، من الشائع لدى الباحثين البدء في المحاضرات والأبحاث بالتأكيد على اعتقاد بأن عملهم سيكون من الممكن استخلاصه من نظرية الأوتار في وقت ما في المستقبل.

هناك أسباب جيدة لأخذ نظرية الأوتار مأخذًا جادا باعتبارها فرضية حول الطبيعة، لكن هذا لا يعتبر إعلانًا عن صحتها. لقد استثمرت الكثير من السنوات من العمل في نظرية الأوتار لأنني اعتقدت بأنها كافية للرغبة في أن أحل للمرة الأولى مشاكلها المهمة. واعتقدت أيضًا أنه ليس لدي الحق في إبداء أي رأي حتى أعرفها بالتفصيل، فقط كما يستطيع أي ممارس. وفي نفس الوقت كنت أعمل على مقاربات أخرى كانت تعد أيضًا بالإجابة عن المسائل الأساسية. نتيجة لذلك، ينظر إليّ الأشخاص على جانبي المجادلة ببعض الشك. يعتبرني بعض علماء نظرية الأوتار "ضد الأوتار". قد لا يكون ذلك أقل صحة. لم أكن أبدًا لأضع الكثير من الوقت والجهد في العمل على نظرية الأوتار، أو في كتابة ثلاثة كتب مدفوعًا بمشاكلها، إذ لم أكن مفتونًا بها، ولم أشعر أنه قد يتضح أنها جزء من الحقيقة. ولم أكن أعمل من أجل أي شيء سوى العلم، ولم أكن ضد أي شيء سوى ما يهدد العلم.

لكن هناك المزيد مما هو في خطر أكثر من الوئام بين الزملاء. لإنجاز عملنا، نحتاج نحن علماء الفيزياء إلى موارد مهمة، والتي يقدمها غالبًا زملاؤنا المواطنون – من خلال الضرائب بالإضافة إلى أموال التمويل.

وفي المقابل، يطلبون فقط فرصة النظر من فوق أكتافنا ونحن نصوغ للمستقبل ونعمق في المعرفة الإنسانية بعالمنا المشترك. علماء الفيزياء أولئك الذين يتصلون بالجمهور العام، سيان من خلال الكتابة، أو الخطب العامة، أو التليفزيون أو الإنترنت، مسئولون عن حكي القصة بصراحة. يجب أن نحرص على تقديم حالات الفشل بصحبة حالات النجاح. بالفعل، أن تكون أمينًا تجاه حالات الفشل من المرجح أن يفيد قضيتنا أكثر من أن يضرها. على أي حال، فإن الناس الذين يقومون بدعمنا يعيشون في عالم حقيقي. هم يعرفون أن التقدم في أي مسعى يتطلب أخذ المخاطر الحقيقية في الحسبان، وأنك قد تفشل أحيانًا.

في السنوات الحديثة، وصف الكثير من الكتب ومقالات المجلات للجمهور العام الأفكار الجديدة المدهشة التي يعمل عليها علماء الفيزياء النظرية. وبعض أوصاف تسلسل الأحداث هذه أقل من أن تكون حريصة على شرح مدى بعد الأفكار الجديدة عن كل من الاختبار التجريبي والبرهان الرياضي. مع الاستفادة من الرغبة العامة لمعرفة كيفية عمل الكون، أشعر بمسئولية التأكد من أن القصة التي تروى في هذا الكتاب لصيقة عن قرب بالحقائق. وأرغب في عرض المشاكل المختلفة التي عجزنا عن حلها، وفي أن أشرح بوضوح ما تدعمه التجارب وما لا تدعمه، وأن أميز الحقيقة عن التأمل والبدعة الفكرية.

وفي معظم الأحوال، لدينا نحن علماء الفيزياء مسئولية تجاه مستقبل مهنتنا. العلم، كما سأوضح لاحقًا، يقوم على الأخلاق، وتتطلب هذه الأخلاق إيمانًا حقيقيًا بالجزء الذي يمارس فيه العلماء عملهم. وتتطلب أيضًا أن يكون

كل عالم هو القاضي في ما يعتقده، بحيث تتم مواجهة كل فكرة لم يتم البرهنة على صحتها بالجرعة المناسبة من الشك والنقد حتى يتم إثبات صحتها. ويتطلب ذلك بدوره أن يتم دعم تشكيلة المقاربات للمشاكل التي لم يتم حلها بواسطة مجتمع العلم والترحيب بها. نجرى الأبحاث لأن الأكثر ذكاءً من بيننا لا يعرفون الإجابة. وتوجد الإجابة غالبًا في اتجاه مخالف لذلك الذي يلاحقه الاتجاه السائد. في تلك الأحوال، وحتى عندما يكون تخمين الاتجاه السائد صحيحًا، يعتمد تقدم العلم على الدعم المناسب للعلماء الذين يتبنون وجهات نظر متباعدة.

يتطلب العلم توازنًا دقيقًا بين الانسجام والتنوع. لأنه لأمر بالغ السهولة أن نخدع أنفسنا، ولأن الإجابات مجهولة، لن يتفق الخبراء، مهما كان تدريبهم جيدًا أو كانوا أذكياء، على أي من المقاربات هي الأكثر ترجيحًا في أن تكون مثمرة. ومن ثم، لو كان على العلم أن يتقدم إلى الأمام، على المجتمع العلمي أن يدعم تشكيلة من المقاربات لأي مشكلة.

هناك دليل بسيط على أن هذه المبادئ الأساسية لم يعد يتم اتباعها في حالة الفيزياء الأساسية. بينما قد لا توافق قلة على بلاغة وجهات النظر المختلفة، يتم ممارستها أقل فأقل. أخبرني بعض من علماء نظرية الأوتار الشباب أنهم يشعرون بأنهم مجبرون على العمل على نظرية الأوتار سيان كانوا يؤمنون بها أم لا، لأنه يتم اعتبارها تذكرة للحصول على درجة البروفيسور في الجامعة. وهم على حق: في الولايات المتحدة، علماء النظريات الذين يتبعون مقاربات في الفيزياء الأساسية غير نظرية الأوتار لا

تكون لديهم تقريبًا فرص في المهنة. في السنوات الخمس عشرة الأخيرة، كان هناك مجموعة ثلاثة مساعدين بروفيسور تم اختيارهم لجامعات أبحاث أمريكية عملوا في مقاربات عن الجاذبية الكمية وليس نظرية الأوتار، وكان هذا الاختيار لجماعة أبحاث واحدة. حتى مع كفاح نظرية الأوتار على الجانب العلمي، فإنها انتصرت داخل المجال الأكاديمي.

يضر ذلك بالعلم، لأنه يقضي على التحقيق في اتجاهات بديلة ويخنقه، وقد تكون بعض هذه الاتجاهات واعدة. رغم الاستثمار غير الملائم في هذه المقاربات، قلة منها تتجاوز نظرية الأوتار إلى حد اقتراح تنبؤات محددة للتجارب، والتي تعتبر الآن في حالة تطور.

كيف يمكن أن تكون نظرية الأوتار، التي اتبعها أكثر من ألف من أكثر العلماء ذكاء وتعلمًا، وكانوا يعملون في أفضل الشروط، مهددة بالفشل؟ حيرني هذا الأمر لمدة طويلة، لكنني أظن الآن أنني أعرف الإجابة. ما أعتقد أنه يفشل ليس إلى حد كبير هو نظرية خاصة ولكن أسلوب إنجاز للعلم كان يلائم المشاكل التي واجهتنا في الجزء الأوسط من القرن العشرين لكنه لا يتلائم بشكل جيد مع أنواع المشاكل الأساسية التي نواجهها الآن. النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات كان نصرًا للطريقة الخاصة في إنجاز العلم، والذي حدث أن هيمن على الفيزياء في أربعينيات القرن العشرين. هذا الأسلوب عملي وواقعي ويفضل الطلاقة والمهارة في الحساب عن التفكير في المسائل الصعبة من الناحية المفاهيمية. يختلف ذلك إلى حد كبير عن طريقة إنجاز العلم لدى ألبرت أينشتاين، ونيلز بور Niels Bohr، وفرنر هيزنبرج

Werner Heisenberg، وإروين شرودنجر Erwin Schrodinger والثوريين الآخرين في بداية القرن العشرين. نشأت أعمالهم من التفكير العميق في المسائل الأكثر أساسية التي تحيط بالمكان، والزمن، والمادة، واعتبروا ما يقومون به جزءًا من تراث فلسفي أوسع، كانوا على ألفة به.

في المقاربة إلى فيزياء الجسيمات التي تم تطويرها وتعليمها بواسطة ريتشارد فينمان، وفريمان دايسون وآخرين، لم يكن للتفكير العقلي في المسائل الأساسية مكان في الأبحاث. وهذا حررهم من النزاعات حول معنى فيزياء الكم، والذي تورط فيها الأكبر سنا بينهم وأدى إلى ثلاثين عامًا من التقدم المهم. هذا ما كان يجب: الحاجة إلى أساليب مختلفة في الأبحاث لحل الأنواع المختلفة من المشاكل. ويتطلب تحقيق تطبيقات أطر راسخة أنواع مختلفة جدًا من التفكير – والمفكرين – أكثر من ابتكار هذه الأطر في المقام الأول.

مع ذلك، سوف أقدم بالتفصيل في الصفحات القادمة، دروس السنوات الثلاثين الأخيرة في أن المشاكل التي تواجهنا الآن لا يمكن حلها بهذه الطريقة العملية في إنجاز العلم. لمواصلة تقدم العلم، علينا أن نواجه من جديد مسائل عميقة حول المكان والزمن، والنظرية الكمية، وعلم الكون. نحتاج من جديد أنواعا من الأشخاص الذين يمكنهم ابتكار حلول جديدة للمشاكل الأساسية طويلة الأمد. وكما سنرى، فإن الاتجاهات التي تم إنجاز التقدم خلالها – التي تعود بالنظرية في صلتها بالتجربة – قادها أشخاص كان لديهم وقت ميسور لابتكار أفكار جديدة أكثر من أتباع ميول شائعة وفي أغلب الأوقات كانوا ينجزون العلم بأسلوب التفكير العقلي والأسلوب التأسيسي لرواد بداية القرن العشرين.

أريد التأكيد على أن اهتمامي ليس بعلماء نظرية الأوتار كأفراد، وبعضهم هم الأكثر موهبة واحترافاً من بين علماء الفيزياء الذين عرفتهم. قد أكون أول من يدافع عن حقهم في متابعة الأبحاث التي يرون أنها الواعدة أكثر من غيرها. لكنني مهتم إلى أقصى درجة بالنزعة التي يتم الدعم الجيد من خلالها لاتجاه واحد فقط، بينما تعاني من الحرمان مقاربات أخرى واعدة.

إنها نزعة ذات عواقب مأساوية لو كانت الحقيقة، كما سأوضح، توجد في اتجاه يتطلب إعادة تفكير جذرية في أفكارنا الأساسية حول المكان، والزمن، والعالم الكمي.

الجزء الأول

تطور لا ينتهي

١

المشاكل الخمس الكبرى في الفيزياء النظرية

منذ بداية الفيزياء، كان هناك أولئك الذين تخيلوا أنهم قد يكونون الجيل الأخير الذي عليه مواجهة المجهول. بدت الفيزياء دائمًا بالنسبة لمن يمارسونها أنها مكتملة تقريبًا. هذا الشعور بالرضى الذاتي كان يتحطم فقط خلال الثورات، عندما يضطر الأشخاص الصادقون إلى الاعتراف بأنهم لا يعرفون الأساسيات. لكن حتى الثوريون لا يزالون يتخيلون أن الفكرة الكبيرة– تلك التي سوف تربط كل شيء معًا وتنهي البحث عن المعرفة – موجودة فحسب في المستقبل القريب.

نحن نعيش في إحدى هذه الفترات الثورية، وهي موجودة منذ قرن. آخر مثل هذه الفترات كانت ثورة كوبرنيكوس، التي بدأت في أول القرن السادس عشر، بعد أن انهارت نظريات أرسطو عن المكان، والزمن، والحركة وعلم الكون. ذروة هذه الثورة كان تقديم إسحاق نيوتن لنظرية فيزياء جديدة، تم نشرها في كتابه "الأسس الرياضية للفلسفة الطبيعية" في ١٦٨٧. وبدأت الثورة الراهنة في الفيزياء في ١٩٠٠، مع اكتشاف ماكس بلانك لصيغة وصف توزيع الطاقة في طيف الإشعاع الحراري، والتي قالت بأن الطاقة ليست مستمرة ولكنها مكممة. ولم تنته هذه الثورة حتى الآن. والمشاكل التي يجب على الفيزياء حلها

في الوقت الراهن هي، إلى مدى واسع، أسئلة ظلت بدون إجابة بسبب عدم اكتمال الثورة العلمية للقرن العشرين.

أساس فشلنا في استكمال الثورة العلمية الراهنة يتكون من خمس مشاكل، ومن المشهور أن كلاً منها صعب المراس. واجهتنا هذه المشاكل عندما بدأت دراستي للفيزياء في السبعينيات، وعندما كنا نتعلم الكثير عنها في العقود الثلاثة الماضية، ظلت بدون حل. بطريقة أو بأخرى، على كل نظرية أساسية مقترحة في الفيزياء أن تحل هذه المشاكل الخمس، لذلك من المفيد النظر عن قرب في كل منها.

كان ألبرت أينشتاين بالتأكيد أهم عالم فيزياء في القرن العشرين. ربما يكون أعظم أعماله هو اكتشاف النسبية العامة، وهي أفضل نظرية لدينا حتى الآن عن المكان، والزمن، والحركة والجاذبية. كان تبصره العميق أن الجاذبية والحركة مرتبطان بشكل وثيق كل منهما بالأخرى وبهندسة المكان والزمن. حطمت هذه الفكرة مئات السنوات من التفكير في المكان والزمن اللذين كان ينظر إليهما حتى ذلك الحين باعتبارهما ثابتين ومطلقين. ولكونهما أبديين ولا يتغيران قدما خلفية استخدمناها لتحديد مفاهيم مثل الموقع والطاقة.

في النظرية النسبية العامة لأينشتاين، لم يعد المكان والزمن يقدمان خلفية ثابتة ومطلقة. المكان ديناميكي مثله مثل المادة، يتحرك ويتشكل. نتيجة لذلك، يمكن لمجمل الكون أن يتمدد أو ينكمش، وحتى الزمن يمكن أن يبدأ (في الانفجار الكبير) وينتهي (في ثقب أسود).

وأنجز أينشتاين أمرًا آخر أيضًا. كان أول شخص يفهم الحاجة إلى نظرية جديدة عن المادة والإشعاع. بالفعل، كانت الحاجة إلى اختراق متضمنة في صيغة بلانك، لكن بلانك لم يفهم تضميناتها بالعمق الكافي، شعر بأنه يمكن الصلح بينها وبين فيزياء نيوتن. فكر أينشتاين بشكل آخر، وأعطى الدليل المحدد الأول لمثل هذه النظرية في ١٩٠٥. واحتاج الأمر إلى عشرين سنة لابتكار هذه النظرية، المعروفة باسم النظرية الكمية.

هذان الاكتشافان، النسبية والكمية، تطلب كل منهما منا الدحض النهائي لفيزياء نيوتن. مع ذلك، رغم التقدم الكبير خلال القرن، ظل الاكتشافان غير مكتملين. رفض كلاهما هذه الفكرة إلى حد وجود نظرية أعمق. لكن السبب الأساسي لأن يظل كل منهما غير مكتمل هو وجود الآخر.

يستدعي المنطق نظرية ثالثة للتوحيد بين كل الفيزياء، ولسبب بسيط. الطبيعة بمعنى واضح "متحدة". الكون الذي نجد أنفسنا فيه مترابط بشكل تبادلي، بحيث يتفاعل كل شيء مع كل شيء آخر. ليست هناك طريقة يمكننا التوصل إليها لأن يكون لدينا نظريتان للطبيعة تغطيان ظواهر مختلفة، كما لو أن الأخرى لا فائدة منها. أي زعم بوجود نظرية نهائية يجب أن يكون نظرية كاملة عن الطبيعة. ويجب أن تشمل كل ما نعرفه.

لقد بقيت الفيزياء زمنًا طويلاً بدون نظرية التوحيد هذه. السبب أنه كان في استطاعتنا، مادام يتعلق الأمر بالتجربة، تقسيم العالم إلى مملكتين. في المملكة الذرية، حيث تهيمن الفيزياء الكمية، يمكننا عادة تجاهل الجاذبية.

يمكننا التعامل مع المكان والزمن تمامًا كما فعل نيوتن – باعتبارهما خلفية لا يمكن أن تتغير. المملكة الأخرى هي التي تخص الجاذبية وعلم الكون. في هذا العالم، يمكننا غالبًا تجاهل الظواهر الكمية.

لكن هذا لا يمكن أن يكون سوى حل مؤقت ومرحلي. يعتبر تجاوزه أول مشكلة كبيرة لم يتم حلها في الفيزياء النظرية:

المشكلة ١: الجمع بين النسبية العامة والنظرية الكمية في نظرية واحدة يمكنها القول بأنها نظرية كاملة عن الطبيعة.

يطلق على ذلك مشكلة الجاذبية الكمية.

بجانب الدليل القائم على وحدة الطبيعة، هناك مشاكل خاصة بكل نظرية تستدعي توحيدها بالأخرى. كل منهما لها مشكلة مع اللانهائيات. في الطبيعة، لا يزال علينا مواجهة أي شيء قابل للقياس له قيمة لانهائية. لكن في كل من النظرية الكمية والنسبية العامة، نواجه تنبؤات بكميات قابلة للإدراك الفيزيائي تصبح لانهائية. تلك على الأرجح هي طريقة الطبيعة في عقاب علماء النظريات غير المتواضعين الذين يجرؤون على تحطيم وحدتها.

للنسبية العامة مشكلة مع اللانهائيات لأنه داخل أي ثقب أسود تصبح كثافة المادة وقوة مجال الجاذبية لانهائيان بسرعة. يبدو أن تلك أيضًا الحالة بوضوح في تاريخ الكون – على الأقل، لو وثقنا أن النسبية العامة تصف حداثة هذا التاريخ. عند النقطة التي تصبح فيها الكثافة لانهائية، تنهار

معادلات النسبية العامة. يفسر بعض الناس ذلك باعتباره توقف الزمن، لكن وجهة النظر الأكثر وقارًا هي أن النظرية تكون غير ملائمة فحسب. لزمن طويل، فكر الأشخاص الحكماء في أنها غير ملائمة لأنه تم تجاهل تأثيرات الفيزياء الكمية.

وللنظرية الكمية، بدورها، مشاكلها الخاصة مع اللانهائيات. إنها تظهر كلما حاولت استخدام ميكانيكا الكم لوصف المجالات، مثل المجال الكهرومغناطيسي. المشكلة أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي لهما قيم في كل نقطة من المكان. هذا يعني أن هناك عددًا لانهائيًا من المتغيرات (حتى في حجم محدد يوجد عدد لانهائي من النقط، ومن ثم عدد لانهائي من المتغيرات). في النظرية الكمية، هناك تقلبات لا يمكن التحكم فيها في قيم كل متغير كمي. ويمكن أن يؤدي أي عدد لانهائي من المتغيرات، وعدم قابلية التقلبات للتحكم فيها، إلى معادلات تخرج عن السيطرة وتتنبأ بعدد لانهائي عندما تسأل المعادلات الإجابة عن احتمال حدوث حادث ما، أو عن شدة قوة ما.

تلك إذن حالة أخرى حيث لا يمكننا سوى الشعور بأن جزءًا أساسيًا من الفيزياء تم إغفالها. لزمن طويل كان هناك أمل في أنه عند أخذ الجاذبية في الحسبان، فإنه سيتم ترويض التقلبات وسيصبح كل شيء محدودا. لو أن اللانهائيات هي علامة على فقد التوحيد، لن يكون في أي نظرية توحيد أي من هذه اللانهائيات. سوف تكون ما نطلق عليه نظرية محدودة، وهي نظرية تجيب عن كل سؤال بمصطلحات الأعداد المحدودة الملموسة.

كانت ميكانيكا الكم ناجحة إلى أقصى حد في شرح مملكة واسعة من الظواهر. وامتد نطاقها من الإشعاع إلى خواص الترانزستورات ومن فيزياء الجسيمات الأولية إلى مفعول الإنزيمات والجزيئات الأخرى الكبيرة التي تعتبر لبنات بناء الحياة. تم إثبات تنبؤاتها المرة تلو الأخرى في مجرى القرن الماضي. لكن كان لدى بعض علماء الفيزياء هواجس تجاهها، لأن الواقع الذي تصفه على درجة عالية من الشذوذ. تحتوي النظرية الكمية في داخلها بعض التناقضات المفاهيمية الظاهرية التي لم يتم حلها حتى بعد ثمانين عامًا. يبدو أي إلكترون موجة وجسيم. وكذلك حال الضوء. ويضاف إلى ذلك، أن النظرية تعطي تنبؤات إحصائية فقط عن السلوك تحت الذري. وقدرتنا على فعل أي شيء أفضل من ذلك محدودة بمبدأ عدم اليقين، الذي يخبرنا بأننا لا يمكننا قياس موقع جسيم وكمية حركته في نفس الوقت. تعطي النظرية احتمالات فقط. يمكن لأي جسيم – إلكترون ذري مثلاً – أن يكون في أي مكان حتى نقيسه، بذلك فإن رصدنا يحدد الحالة بمعنى ما. كل ذلك يفترض أن النظرية الكمية لا تحكي كل القصة. نتيجة لذلك، ورغم نجاحها، هناك الكثير من الخبراء مقتنعون بأن النظرية الكمية تخفي شيئا ما جوهريًا حول الطبيعة نحتاج إلى معرفته.

إحدى المشاكل التي أفسدت النظرية من البداية هي مسألة العلاقة بين الواقع والشكلية formalism. توقع علماء الفيزياء تقليديًا أن العلم يجب أن يضع في اعتباره الواقع كما يجب أن يكون عليه في غيابنا. يجب أن تكون الفيزياء أكثر من مجموع صيغ تتنبأ بما سوف نرصده في تجربة ما، عليها

أن تعطي صورة عن الواقع. نحن سلالة عرضية لأحد الثدييات القديمة، التي ظهرت حديثًا جدا فقط في تاريخ العالم. ولا يمكن إلا أن يكون الواقع معتمدًا على وجودنا. ولا يمكن أيضًا حل مشكلة عدم وجود راصدين بطرح احتمال وجود حضارات خارج الأرض، لأنه كان هناك زمن لم يكن العالم موجودا فيه لكنه كان شديد الحرارة والكثافة إلى حد كبير بحيث لا يمكن أن يوجد فيه ذكاء منظم.

يطلق الفلاسفة على وجهة النظر هذه الواقعية realism. يمكن تلخيصها بالقول بأن العالم الموجود في الخارج هناك (أو RWOT، كما اعتاد أول مدرس فلسفي لي أن يصفه) يجب أن يوجد مستقلاً عنا. ينتج عن ذلك أن الكلمات التي يصف العلم بواسطتها الواقع لا يمكن أن تتضمن بأية طريقة جوهرية ما نختار أن نقيسه أو لا نقيسه.

ميكانيكا الكم، على الأقل في صورتها المقترحة الأولى، لم تكن تتلاءم بسهولة مع الواقعية. ذلك لأن النظرية تفترض بشكل مسبق انقسام الطبيعة إلى جزأين. من جانب قسم هو النظام الذي يجب رصده. ونحن الراصدون، في الجانب الآخر. معنا الأجهزة التي نستخدمها لتجهيز التجارب والقيام بالقياسات، والساعات التي نستخدمها لتسجيل وقت وقوع الأحداث. يمكن وصف النظرية الكمية باعتبارها نوعًا جديدًا من اللغات يجب استخدامها في الحوار بيننا وبين النظم التي ندرسها بأجهزتنا. تحتوي اللغة الكمية هذه على أفعال تشير إلى تجهيزاتنا وقياساتنا وأسماء تشير إلى ما نراه عندئذ. وهي لا تخبرنا بأي شيء عن ما يكون عليه العالم في غيابنا.

منذ أن تم اقتراح النظرية الكمية انطلق جدل بين أولئك الذين يقبلون هذه الطريقة في إنجاز العلم وأولئك الذين يرفضونها. ووجد الكثير من مؤسسي ميكانيكا الكم، بما فيهم أينشتاين، وإروين شرودنجر، ولويس دو بروجلي Louis de Broglie، أن هذه المقاربة للفيزياء متناقضة. كانوا واقعيين. بالنسبة إليهم لم تكن النظرية الكمية، أيًا كانت طريقة عملها، نظرية كاملة، لأنها لا تعطي صورة عن الواقع في غياب تفاعلنا معه. في الجانب الآخر كان نيلز بور، وفرنر هيزنبرج، وآخرون كثيرون. وبدلاً من أن يكونوا في حالة فزع، احتضنوا هذه الطريقة الجديدة في إنجاز العلم.

منذ ذلك الحين، سجل الواقعيون بعض النجاح بإشارتهم إلى التضاربات في الصيغة الحالة للنظرية الكمية. ولقد ظهر بعض هذه التضاربات الواضحة لأن النظرية الكمية، لو كانت شاملة، يجب أن تصفنا نحن أيضًا. أنت، من ثم، مشكلة من تقسيم العالم المطلوب لجعل النظرية الكمية ذات معنى. إحدى المشاكل هي مكان رسمك لخط التقسيم، الذي يعتمد على من يقوم بالرصد. عندما تقيس ذرة ما، تكون أنت وأجهزتك في جانب والذرة في الجانب الآخر. لكن افترض أنني أراقبك وأنت تعمل من خلال كاميرا فيديو وضعتها أنا في مختبرك. أستطيع اعتبار مجمل مختبرك – بما في ذلك أنت وأجهزتك، بالإضافة إلى الذرات التي تتعامل معها – يشكل منظومة واحدة أراقبها أنا. من جانب آخر أوجد أنا فقط.

أنت وأنا نصف، من ثم، "منظومتان" مختلفتان. منظومتك تتضمن الذرات فقط. ومنظومتي تتضمنني، والذرات، وكل ما تستخدمه أنت لدراستها. ما تراه كقياسات، أراه أنا كمنظومتين فيزيائيتين تتفاعلان الواحدة

منهما مع الأخرى. بذلك، حتى لو وافقت على أنه من الرائع اعتبار أفعال الراصدين جزءا من النظرية، لا تكون النظرية المعطاة كافية. يجب توسعة ميكانيكا الكم، للسماح بوجود الكثير من حالات الوصف المختلفة، اعتمادًا على من يقوم بالرصد.

تأتي كل هذه القضية تحت اسم المشاكل التأسيسية لميكانيكا الكم. إنها المشكلة الثانية الكبيرة في الفيزياء المعاصرة.

المشكلة ٢: حل المشاكل التأسيسية لميكانيكا الكم، سيان بإعطاء النظرية معنى كما هي عليه أو بابتكار نظرية جديدة يكون لها معنى.

هناك عدة طرق مختلفة لفعل ذلك.

١- أعط لغة محسوسة للنظرية، نظرية تحل كل الألغاز مثل تلك التي تمت الإشارة إليها على التو وتدمج تقسيم العالم إلى منظومة وراصد كسمة جوهرية للنظرية.

٢- اعثر على تفسير جديد للنظرية – طريقة جديدة لقراءة المعادلات – تكون واقعية، بحيث لا تلعب القياسات والرصد أي دور في وصف الواقع الأساسي.

٣- ابتكر نظرية جديدة، نظرية تتيح فهمًا للطبيعة أعمق مما تتيحه ميكانيكا الكم.

يتم حاليًا العمل على هذه الاختيارات الثلاثة كلها بواسطة حفنة من الأشخاص الأذكياء. وليس هناك لسوء الحظ الكثير من علماء الفيزياء الذين يعملون على هذه المشكلة. يتم أخذ هذا الأمر أحيانًا باعتباره مؤشرًا على أن المشكلة إما أنها تم حلها أو أنها غير مهمة. وليس أي من الأمرين صحيحا. ربما تكون هذه هي المشكلة الأكثر تعقيدًا التي تواجه العلم الحديث. إنها بالغة الصعوبة فحسب حتى إن التقدم فيها بالغ البطء. لديّ إعجاب عميق بعلماء الفيزياء الذين يعملون على حل هذه المشكلة، بسبب نقاء نواياهم وشجاعتهم في تجاهل الموضة ومواجهة المشاكل الأكثر صعوبة والأساسية أكثر من غيرها.

لكن رغم أفضل مجهوداتهم، تظل المشكلة بدون حل. ويوحي لي ذلك بأن الأمر لا يتعلق فقط بالعثور على طريقة جديدة للتفكير في النظرية الكمية. أولئك الذين صاغوا النظرية في البداية لم يكونوا واقعيين. لم يكونوا يعتقدون بأن الكائنات البشرية قادرة على تشكيل صورة حقيقة عن العالم، كما هو موجود مستقلاً عن أفعالنا وأرصادنا. وقالوا بدلاً عن ذلك بنوع مختلف جدًا من العلم. من وجهة نظرهم، لا يمكن للعلم إلا أن يكون امتدادًا للغة العادية التي نستخدمها في وصف أفعالنا وأرصادنا لبعضنا البعض.

في الأزمنة الأكثر حداثة، تبدو وجهة النظر هذه مطلقة العنان لأهوائها- منتج لزمن تقدمنا أبعد منه في كثير من الجوانب. هؤلاء الذين استمروا في الدفاع عن ميكانيكا الكم باعتبارها مُصاغة، ويقترحونها باعتبارها نظرية عن العالم، يفعلون ذلك في الغالب تحت شعار الواقعية. يجادلون من أجل إعادة تفسير النظرية من خلال طرق واقعية. مع ذلك، بينما أنجزوا بعض الخطط المقترحة المثيرة للاهتمام، لم يكن أي منها مقنعًا بشكل كامل.

من المحتمل أن الواقعية كفلسفة سوف تتلاشى، لكن هذا يبدو غير مرجح. على أي حال، تتيح الواقعية محفزًا يقود أغلب العلماء. بالنسبة لأغلبنا، نحن نؤمن بوجهة نظر RWOT واحتمال المعرفة الحقيقية بأنها تحفزنا لإنجاز العمل الشاق المطلوب لكي يصبح الشخص عالمًا، وأن يساهم في فهم الطبيعة. مع فشل الواقعيين في إعطاء معنى للنظرية الكمية كما هي مصاغة، يتضح أنه من المرجح أكثر فأكثر أن الاختيار الوحيد هو الاختيار الثالث: اكتشاف نظرية جديدة تكون أكثر انصياعًا لأي تفسير واقعي.

يجب أن أعترف بأنني واقعي. أنحاز إلى أينشتاين والآخرين الذين يؤمنون بأن ميكانيكا الكم هي وصف غير كامل للواقع. أين، إذن، نبحث عن ما هو مفقود في ميكانيكا الكم. بدا لي دائمًا أن الحل سيتطلب أكثر من الفهم الأعمق للفيزياء الكمية نفسها. أعتقد أنه لو لم تكن المشكلة قد تم حلها بعد كل هذا الزمن، فإن هذا يعود إلى أن هناك شيئا ما مفتقدا، ارتباط ما بالمشاكل الأخرى في الفيزياء. ليس من المرجح حل مشكلة ميكانيكا الكم معزولة عن غيرها، وبدلاً عن ذلك ربما سيظهر الحل ونحن نحرز تقدمًا في جهدنا الأكبر لتوحيد الفيزياء.

لكن لو كان ذلك صحيحا، فإنه سينجح بكلتا الطريقتين: لن نستطيع حل المشاكل الأخرى الكبيرة إلا إذا وجدنا بديلاً ملموسًا لميكانيكا الكم.

ربما تكون فكرة ضرورة توحيد الفيزياء وراء تحفيز المزيد من العمل في مجال الفيزياء أكثر من أي مشكلة أخرى. لكن هناك طرقا مختلفة يمكن

من خلالها توحيد الفيزياء، ويجب أن ننتبه إلى التمييز بينها. حتى الآن كنا نناقش التوحيد من خلال قانون واحد. من الصعب معرفة كيف يمكن لأي شخص أن يعارض أن هذا هدف ضروري.

لكن هناك طرقا أخرى لتوحيد العالم. لقد أكد أينشتاين، الذي فكر كثيرًا بالتأكيد في ذلك كأي شخص، أن علينا التمييز بين نوعين من النظريات. توجد نظريات المبدأ والنظريات الاستدلالية constructive. نظرية المبدأ هي النظرية التي تضع إطارًا يجعل وصف الطبيعة ممكنًا. بالتعريف، يجب أن تكون نظرية المبدأ شاملة: يجب تطبيقها على كل شيء لأنها تضع اللغة الأساسية التي نستخدمها للحديث حول الطبيعة. لا يمكن أن يكون هناك نظريتان مختلفتان عن المبدأ، يتم تطبيقهما على نطاقات مختلفة. ولأن العالم وحدة، يتفاعل كل شيء في النهاية مع كل شيء آخر، ويمكن أن تكون هناك لغة واحدة فقط لوصف هذه التفاعلات. النظرية الكمية والنسبية العامة كلتاهما نظرية مبدأ. وباعتبارهما هكذا، يتطلب المنطق التوحيد بينهما.

النوع الآخر من النظريات، النظريات الاستدلالية، يصف ظاهرة خاصة بمصطلحات نماذج خاصة أو معادلات[1]. نظرية المجال الكهرومغناطيسي ونظرية الإلكترون نظريتان استدلاليتان. لا يمكن لنظرية من هذا النوع أن تقف وحدها، يجب إدخالها في سياق نظرية مبدأ. لكن بقدر ما تسمح نظرية المبدأ، قد تكون هناك ظواهر تخضع لقوانين مختلفة. على سبيل المثال، يخضع المجال الكهرومغناطيسي لقوانين مختلفة عن تلك التي تحكم المادة المظلمة الكونية المفترضة (التي يُعتقد بأنها تتجاوز إلى حد كبير

كمية المادة الذرية العادية في كوننا). الشيء الذي نعرفه عن المادة المظلمة هو أنها مظلمة، أيا كانت طبيعتها. هذا يعني أنها لا تبعث أي ضوء، لذلك من المرجح أنها لا تتفاعل مع المجال الكهرومغناطيسي. لذلك يمكن أن توجد نظريتان مختلفتان جنبًا إلى جنب.

الفكرة أن القوانين الكهرومغناطيسية لا تفرض ما يوجد أيضًا في العالم. قد تكون هناك كواركات أو لا تكون موجودة، والنيوترونات والمادة المظلمة كذلك. بالمثل، القوانين التي تصف القوتين – الشديدة والضعيفة – اللتين تؤثران داخل النوى الذرية لا تتطلب بالضرورة وجود قوة كهرومغناطيسية. يمكننا أن نتخيل بسهولة عالمًا فيه كهرومغناطيسية لكنه بدون قوة نووية شديدة، والعكس صحيح. بقدر معرفتنا، كلا الاحتمالين يكون متسقًا.

لكن يظل ممكنا السؤال عن ما إذا كانت كل القوى التي نرصدها في الطبيعة يجب أن تكون مظهرًا لقوة أساسية وحيدة. يبدو بقدر ما يمكنني قوله، عدم وجود دليل منطقي على أن هذا يجب أن يكون صحيحًا، لكن يظل هناك شيء ما يجب أن يكون صحيحًا.

الرغبة في توحيد القوى المختلفة أدى إلى عدة تطورات مهمة في تاريخ الفيزياء. قام جيمس كلارك ماكسويل، في ١٨٦٧، بتوحيد الكهرباء والمغناطيسية في نظرية واحدة، وبعد قرن، تحقق علماء الفيزياء من أن المجال الكهرومغناطيسي والمجال الذي ينشر القوة النووية الضعيفة (القوة المسئولة عن التحلل الإشعاعي) يمكن توحيدهما. أصبحت تلك هي نظرية

الكهروضعيفة electroweak، وتم إثبات تنبؤاتها بشكل متكرر في تجارب خلال الثلاثين سنة الماضية.

هناك قوتان رئيسيتان في الطبيعة (اللذان نعرفهما) يظلان خارج توحيد المجالين الكهرومغناطيسي والضعيف. هاتان القوتان هما الجاذبية والقوة النووية الشديدة، القوة المسئولة عن ربط الجسيمات المسماة بالكواركات معًا لتكوين البروتونات والنيوترونات التي تشكل النوى الذرية. هل يمكن توحيد كل القوى الأربع؟

هذه هي مشكلتنا الثالثة الكبيرة.

المشكلة ٣: تحديد ما إذا كانت الجسيمات المختلفة والقوى أو لم يكن من الممكن توحيدها في نظرية تفسرها كلها كحالات ظهور لهوية واحدة أساسية.

دعنا نسم هذه المشكلة توحيد الجسيمات والقوى، لتمييزها عن توحيد القوانين، التوحيد الذي ناقشناه سابقًا.

أولاً، تبدو هذه المشكلة سهلة. الاقتراح الأول عن كيفية توحيد الجاذبية مع الكهرباء والمغناطيسية تم تقديمه في ١٩١٤، وتم تقديم المزيد من الاقتراحات الكثيرة منذ ذلك الحين. كلها ناجحة، مادام أنك تنسى شيئًا واحدًا، وهو أن الطبيعة تتبع ميكانيكا الكم. لو أنك أخرجت ميكانيكا الكم من الصورة، يصبح من السهل الحصول على نظريات التوحيد. لكن لو أنك جعلت النظرية الكمية متضمنة، تصبح المشكلة أصعب بكثير جدًا. حيث إن

الجاذبية هي إحدى قوى الطبيعة الأربع الأساسية، يجب أن نحل المشكلة بجاذبية كمية (أي، المشكلة رقم ١: كيفية التصالح بين النسبية العامة والنظرية الكمية) مع مشكلة التوحيد.

خلال القرن الأخير، تم تبسيط وصفنا الفيزيائي للعالم بعض الشيء. مادمنا نضع في اعتبارنا الجسيمات، يبدو أن هناك فقط نوعين، الكواركات واللبتونات. الكواركات هي قوام البروتونات والنيوترونات والكثير من الجسيمات التي اكتشفنا أنها تماثلها. فئة اللبتونات تشتمل على كل الجسيمات التي لا تتكون من كواركات، بما في ذلك الإلكترونات والنيوترونات. على العموم، يتم تفسير العالم المعروف بستة أنواع من الكواركات وستة أنواع من اللبتونات، التي تتفاعل مع بعضها البعض خلال القوى الأربع (أو التفاعلات، كما تُعرف أيضًا): الجاذبية، الكهرومغناطيسية، والقوة النووية الشديدة والضعيفة.

اثنا عشر جسيما وأربع قوى هي كل ما نحتاج إليه لتفسير كل شيء في العالم المعروف. ونفهم أيضًا بشكل جيد جدًا الفيزياء الأساسية لهذه الجسيمات والقوى. ويتم التعبير عن هذا الفهم بمصطلحات نظرية تضع في اعتبارهما كل هذه الجسيمات وكل القوى باستثناء الجاذبية. ويطلق عليها النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات الأولية – أو النموذج المعياري، اختصارًا. ليس في هذه النظرية مشكلة اللانهائيات المذكورة سابقًا. أي شيء نرغب حسابه في هذه النظرية يمكننا فعل ذلك، وينتج على هيئة عدد محدود. خلال أكثر من ثلاثين سنة منذ تمت صياغتها، تم فحص الكثير من التنبؤات التي قدمتها هذه النظرية بشكل تجريبي. وفي كل حالة، تم إثبات صحة النظرية.

تمت صياغة النموذج المعياري في بداية السبعينيات. باستثناء ما يخص اكتشاف أن للنيوترينو كتلة، لم يكن هذا النموذج في حاجة إلى أي تعديلات منذ ذلك الحين. لماذا إذن لم تكتمل الفيزياء في ١٩٧٥؟ ما الذي تبقى ليتم فعله؟

مع كل فائدته، للنموذج المعياري مشكلة كبيرة: فيه لائحة طويلة من الثوابت القابلة للتعديل. عندما نضع قوانين النظرية، علينا تحديد قيم هذه الثوابت. في حدود معرفتنا، ستقوم كل الثوابت بهذا الأمر، لأن النظرية متسقة رياضيًا مهما كانت القيم التي نضعها فيها. تحدد هذه الثوابت خواص الجسيمات. بعضها يخبرنا بكتل الكواركات واللبتونات، بينما يخبرنا غيرها بشدة القوى. ليس لدينا فكرة عن سبب أن هذه الأرقام لها هذه القيم، ونحن نحددها ببساطة بالتجارب ثم نضع الأرقام. لو أنك فكرت في النموذج المعياري باعتباره آلة حاسبة، عندئذ تكون الثوابت أرقاما على قرص يمكنك وضعها أيًا كانت الأوضاع التي ترغب فيها في كل مرة خلال عمل البرنامج.

هناك نحو عشرين من هذه الثوابت، ووجود الكثير من هذه الثوابت التي يتم تحديدها بشكل حر في ما هو متوقع أن يكون نظرية أساسية هو أمر مربك إلى حد هائل. كل ثابت يمثل حقيقة أساسية عن مدى جهلنا: بالتحديد، السبب الفيزيائي أو الآلية المسئولة عن وضع الثابت بقيمته المرصودة.

تلك هي مشكلة الرابعة الكبيرة.

المشكلة ٤: تفسير سبب اختيار قيم الثوابت الحرة في النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات، في الطبيعة.

وإنه لأمل صادق أن تقدم نظرية توحيد حقيقية للجسيمات والقوى إجابة فريدة عن هذا السؤال.

في ١٩٠٠، أعلن وليم طومسون William Thomson (لورد كالفن) في قوله المشهور إن الفيزياء اكتملت، باستثناء سحابتين صغيرتين في الأفق. اتضح أن هاتين "السحابتين" هما المفاتيح التي ستقودنا إلى النظرية الكمية ونظرية الجاذبية. والآن، حتى ونحن نحتفل باشتمال كل الظواهر المعروفة في النموذج المعياري إضافة إلى النسبية العامة، نحن، أيضًا، مدركون لهاتين السحابتين. إنهما المادة المظلمة والطاقة المظلمة.

باستثناء موضوع علاقتها بالكم، نظن أننا نفهم الجاذبية بشكل جيد جدًا. اتضح أن تنبؤات النسبية العامة تتفق مع الرصد بدرجة دقة عالية. تمتد هذه الأرصاد المقصودة من الأجسام الساقطة والضوء على الأرض، حتى الحركة التفصيلية لكواكب وأقمارها، إلى مقاييس المجرات ومجموعات المجرات. الظواهر التي كانت غريبة في ما مضى – مثل العدسة الجاذبية، وهي ظاهرة انحناء المكان بواسطة المادة – مفهومة الآن بشكل جيد جدًا حتى إنه يتم استخدامها لقياس توزيع الكتلة في مجموعات مجرية.

في حالات كثيرة – حيث تكون السرعات صغيرة مقارنة بسرعة الضوء، والكتل غير مدمجة إلى حد كبير – تعطي قوانين نيوتن للجاذبية والحركة تقريبًا ممتازًا لتنبؤات النسبية العامة. بالتأكيد هي تساعدنا للتنبؤ بكيفية تأثر حركة الجسيمات بكتل النجوم والمادة الأخرى في مجرتها. لكنها

لا تفعل ذلك. يقول قانون نيوتن للجاذبية بأن عجلة أي جسم، وهو يدور حول مدار جسم آخر تتناسب مع كتلة الجسم الذي يدور حوله. كلما كان النجم أكثر ثقلاً، كانت الحركة المدارية للكوكب أسرع. أي، لو أن نجمين يدور حول كل منهما كوكب ما، والكوكبان على نفس المسافة من نجميهما، سيدور الكوكب الدائر حول النجم الأكثر ثقلاً بسرعة أكبر. لذلك لو أنك تعرف سرعة جسم يدور حول نجم ومسافته عن النجم، يمكنك قياس كتلة النجم. ونفس الأمر صحيح بالنسبة لنجوم تدور حول مركز مجرتها، بقياس السرعات المدارية للنجوم يمكنك قياس توزيع الكتل في المجرة.

خلال العقود الأخيرة، كان علماء الفلك قد أجروا تجربة بالغة البساطة قاسوا من خلالها توزيع الكتلة في مجرة بطريقتين مختلفتين وقارنوا النتائج. أولاً، قاسوا الكتلة برصد السرعات المدارية للنجوم، ثانيًا، أنجزوا قياسات مباشرة أكثر لكتلة بإدخال كل النجوم والغاز والغبار الذي يمكنهم رؤيته في المجرة، في الحسبان. الفكرة هي مقارنة القياسين: على كل منهما أن يخبر العلماء بكل من الكتلة الكلية في المجرة وكيفية توزيعها. مع معرفة أننا نفهم الجاذبية بشكل جيد، وأن كل الأنواع المعروفة من المادة ينبعث منها ضوء، يجب أن تتوافق الطريقتان.

لا تتفقان. قارن علماء الفلك بين طريقتي قياس الكتلة في أكثر من مائة مجرة. في أغلب الحالات، لا يتفق القياسان، وليس بقيمة صغيرة فحسب ولكن بعوامل تصل إلى ١٠. ويضاف إلى ذلك، يأتي الخطأ دائمًا في اتجاه

واحد: هناك دائمًا المزيد من الكتلة يجب توافره لتفسير الحركات المرصودة للنجوم أكثر مما تتم رؤيتها مباشرة كمجمل لكل النجوم، والغاز والغبار.

هناك فقط تفسيران لذلك. إما أن الطريقة الثانية تفشل بسبب وجود كتلة أكثر بكثير في مجرة ما مقارنة بما تتم رؤيته، أو أن قوانين نيوتن تفشل في التنبؤ بشكل صحيح بحركات النجوم في المجال الجاذبي لمجراتها.

كل أنواع المادة التي نعرفها ينبعث عنها ضوء، إما مباشرة كما في ضوء النجوم أو ينعكس من الكواكب أو الصخور والغاز والغبار ما بين النجوم. لذلك لو أن هناك مادة لا نراها، يجب أن تكون على هيئة جديدة لا تبث أو تعكس الضوء. ولأن التضارب كبير جدًا، فإن أغلب المادة في المجرات يجب أن تكون على هذه الهيئة الجديدة.

يعتقد الآن أغلب علماء الفلك وعلماء الفيزياء أن تلك هي الإجابة الصحيحة عن اللغز. هناك مادة مفقودة، وهي موجودة بالفعل لكننا لا نراها. يُشار إلى هذه المادة الغامضة المفقودة باعتبارها المادة المظلمة. وفرضية المادة المظلمة مفضلة غالبًا لأن الاحتمال الوحيد الآخر - بأننا على خطأ بسبب قوانين نيوتن، وبالتوسع في النسبية العامة - من المروع إلى أقصى حد التفكير فيه.

بل أصبحت الأمور أكثر غموضًا. اكتشفنا حديثًا أننا عندما نجري عمليات رصد على مقاييس لا تزال أكبر، تناظر مليارات السنوات الضوئية، لا تكون معادلات النسبية العامة كافية حتى عند إضافة المادة المظلمة. يبدو

أن تمدد الكون، الذي انطلقت حركته بالانفجار الكبير منذ نحو ١٣,٧ مليار سنة، يتسارع، بينما، بمعرفة المادة المرصودة إضافة إلى الكمية المحسوبة للمادة المظلمة، يجب أن يفعل العكس – أن يتناقص تسارعه.

من جديد، هناك تفسيران محتملان. قد تكون النسبية العامة خاطئة ببساطة. لقد تم إثبات صحتها بشكل دقيق فقط في مجموعتنا الشمسية وبالقرب من منظومات في مجرتنا الخاصة. ربما بالوصول إلى مقياس يماثل حجم مجمل الكون، لا تكون النسبية العامة قابلة للتطبيق ببساطة عندئذ.

أو أن هناك نوعا آخر من المادة – أو الطاقة (تذكر المعادلة الشهيرة لأينشتاين $E=mc^2$، التي توضح التساوي بين الطاقة والكتلة) – يرتبط بالموضوع على المقاييس بالغة الضخامة: أي، هذا النوع من الطاقة يؤثر فقط على تمدد الكون. وليفعل ذلك، لا يمكنه أن يتكتل حول المجرات أو حتى مجموعات المجرات. هذه الطاقة الجديدة الغريبة، التي افترضناها لكي تتلاءم مع البيانات، يطلق عليها الطاقة المظلمة.

أغلب أنواع المادة تكون تحت الضغط، لكن الطاقة المظلمة تكون تحت الشد – أي، تجذب الأشياء معًا أكثر من كونها تدفعها بعيدًا. ولهذا السبب، يطلق على الشد أحيانًا الضغط السلبي. ورغم حقيقة أن الطاقة المظلمة تكون تحت شد، فإنها تؤدي إلى تمدد الكون بشكل أسرع. لو أصابك الارتباك بسبب ذلك، أتعاطف معك. قد يظن المرء أن الغاز ذا الضغط السالب يعمل كحلقة مطاطية متصلة بالمجرات وتقوم بإبطاء عملية التمدد. لكن يتضح أنه عندما يكون الضغط السالب كافيًا، في النسبية العامة يكون له تأثير عكسي.

تكشف القياسات الحديثة عن كون يتكون في الغالب من المجهول. على الأقل ٧٠ في المائة من كثافة المادة يبدو أنها نوع من الطاقة المظلمة. وستة وعشرين في المائة مادة سوداء. فقط ٤ في المائة مادة عادية. لذلك فإن أقل من جزء في ٢٠ مصنوع من مادة رصدناها تجريبيًا أو يصفها النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات. من الـ ٩٦ في المائة الأخرى، باستثناء الخواص التي سبق ذكرها، لا نعرف شيئًا البتة.

في السنوات العشر الأخيرة، أصبحت القياسات الفلكية أكثر دقة. ويعود ذلك جزئيًا إلى التأثير الجانبي لقانون مور، الذي يقول بأن كل ثمانية عشر شهرًا أو ما يقرب من ذلك، سوف تتضاعف سرعات المعالجة في رقائق الحاسب. كل التجارب الجديدة تستخدم الرقائق الدقيقة إما في الأقمار الاصطناعية أو التلسكوبات على الأرض، لذلك كلما كانت الرقائق أفضل كذلك تكون الأرصاد. نعرف اليوم الكثير عن الصفات الأساسية للكون، مثل الكثافة الكلية للمادة ومعدل التمدد. يوجد الآن نموذج معياري لعلم الكون، تمامًا مثل وجود نموذج معياري لفيزياء الجسيمات الأولية. ومثل نظيره تمامًا، يوجد في النموذج المعياري الكوني قائمة من الثوابت المحددة بشكل حر – في هذه الحالة، تكون نحو خمسة عشر. يدل ذلك، من بين أشياء أخرى، على كثافة الأنواع المختلفة من المادة والطاقة ومعدل التمدد. لا أحد يعرف أي شيء عن سبب أن هذه الثوابت لها تلك القيم. وكما في فيزياء الجسيمات، يتم أخذ قيم الثوابت من الأرصاد لكن لم تفسرها بعد أية نظرية.

تمثل هذه الألغاز الكونية المشكلة الكبيرة الخامسة.

المشكلة ٥: فسر المادة المظلمة والطاقة المظلمة.
أو، إذا كانا لا يوجدان، حدد كيف يتم تحسين الجاذبية على مقاييس كبيرة وسبب ذلك. بشكل أكثر عمومية، فسر سبب أن ثوابت النموذج المعياري الكوني، بما في ذلك الطاقة المظلمة، له هذه القيم.

. تمثل هذه المشاكل الخمس حدود المعارف الحالية. وهي التي تحافظ على أن يظل علماء الفيزياء النظرية في ظلمة. ومعًا تقود أغلب العمل الحالي على حدود الفيزياء النظرية.

أي نظرية تزعم أنها نظرية أساسية عن الطبيعة يجب أن تجيب عن كل منها. أحد أهداف هذا الكتاب هو أن يقيم فحسب مدى جودة ما فعلته النظريات الفيزيائية الحديثة، مثل نظرية الأوتار، في إنجاز هذا الهدف. لكن قبل أن نفعل ذلك، نحتاج إلى فحص بعض المحاولات المبكرة للتوحيد. لدينا الكثير لنتعلمه من حالات النجاح – وأيضًا من حالات الفشل.

٢

أسطورة الجمال

الهدف الذي يلقى أفضل تقدير في الفيزياء، كما هو الأمر في الروايات الرومانسية الرديئة، هو التوحيد. الجمع بين شيئين كان يتم اعتبارهما سابقًا مختلفين والتعرف عليهما على أساس أن لهما جوانب هوية مفردة – عندما نستطيع فعل ذلك – هو أكبر إثارة في العلم.

رد الفعل العاقل الوحيد تجاه توحيد مقترح هو المفاجأة. الشمس هي نجم آخر فحسب – والنجوم هي شموس فحسب حدث أنها بعيدة جدًا! تخيل رد فعل حداد أو ممثل من أواخر القرن السادس عشر عندما يسمع هذه الفكرة الجامحة من جيوردانو برونو Giordano Bruno. ما الذي يمكن أن يكون أكثر عبثية من التوحيد بين الشمس والنجوم؟ كان الناس قد تعلموا أن الشمس نار هائلة خلقها الرب لتدفئة الأرض، بينما النجوم ثقوب في الكرة السماوية تسمح بمرور ضوء السماء. يقلب التوحيد عالمك رأسًا على عقب. ما اعتدت على الاعتقاد في صحته يصبح مستحيلاً. لو أن النجوم شموس، يكون الكون أكبر إلى حد هائل مما نعتقده! لا يمكن أن تكون السماء مجرد ما هو موجود فوقنا!

بل الأكثر أهمية، أن أي اقتراح توحيد جديد يأتي معه بفرضيات لم يتم تخيلها من قبل. لو أن النجوم هي شموس أخرى، لا بد أن حولها كواكب، حيث يعيش بشر آخرون! تمتد التضمينات غالبًا إلى ما وراء العلم. لو أن هناك كواكب أخرى عليها بشر آخرون، عندئذ إما أن المسيح أتى إليهم جميعًا، وفي هذه الحالة فإن مجيئه إلى الإنسان لم يكن حادثًا فريدًا من نوعه، أو أن كل هؤلاء البشر يفقدون احتمال الخلاص! ولا عجب أن تحرق الكنيسة الكاثوليكية برونو حيًا.

وعمليات التوحيد الكبرى تصبح الأفكار المؤسسة التي تقوم عليها مجمل العلوم الجديدة. وأحيانًا تهدد العواقب وجهة نظرنا الشاملة إلى حد أن يتلو المفاجأة الكفر بسرعة. قبل داروين، كان كل نوع في فئته الأبدية الخاصة. كل منها صنعه، بشكل مفرد، الرب. لكن التطور بالانتقاء الطبيعي يعني أن كل الأنواع لها سلف مشترك. تم توحيدها في عائلة كبيرة. من الصعب اعتبار البيولوجيا قبل داروين والبيولوجيا بعده علما واحدا.

تؤدي هذه التبصرات القوية الجديدة بسرعة إلى اكتشافات جديدة. لو أن كل الكائنات الحية لها سلف مشترك، لا بد أنها صُنعت بشكل متماثل! بالفعل، نحن مصنوعون من نفس المادة، لأنه يتضح أن كل الحياة تتكون من خلايا. النباتات، والحيوانات، والفطريات والبكتيريا تبدو مختلفة جدًا عن بعضها بعضا، لكنها كلها هي مجموعات من الخلايا فحسب منظمة بطرق مختلفة. والعمليات الكيميائية التي تنشأ وتغذي هذه الخلايا بالطاقة هي نفسها، في كل إمبراطورية الحياة.

لو أن مقترحات التوحيد صادمة جدًا لطرقنا السابقة في التفكير، كيف يمكن للناس تصديقها؟ تلك بأشكال مختلفة هي المشكلة المحيرة في قصتنا، لأنها قصة مقترحات توحيد متعددة، حيث إن العلماء يؤمنون بقوة ببعض منها. لكن ليس من بينها من حاز إجماعًا بين كل العلماء. نتيجة لذلك، لدينا جدال مشتد، ونزاع عاطفي أحيانًا، نتيجة لبذل جهود في تعديل جذري لوجهات النظر الشاملة. لذلك عندما يقترح شخص ما توحيدًا جديدًا، كيف نعرف ما إذا كان صحيحًا أم لا؟

قد تتخيل أنه لا يتضح أن كل اقتراحات التوحيد صحيحة. فيما مضى، اقترح علماء الكيمياء أن الحرارة جوهر، مثل المادة. وأُطلق عليها اسم اللاهوب phlogiston. يوحد هذا المفهوم بين الحرارة والمادة. لكنه كان خطأ. الاقتراح الصحيح لتوحيد الحرارة والمادة هو أن الحرارة طاقة في حركة عشوائية للذرات. لكن رغم أن المذهب الذري اقترحه الهنود القدماء والفلاسفة اليونانيون، لم يتم التطوير الصحيح لنظرية الحرارة باعتبارها الحركة العشوائية للذرات حتى أواخر القرن التاسع عشر.

في تاريخ الفيزياء، كان هناك الكثير من المقترحات لتوحيد النظريات وهو ما اتضح خطؤه. المقترح الشهير كان فكرة أن الضوء والصوت هما نفس الشيء من الناحية الجوهرية. كان يُعتقد بأنهما اهتزازات في المادة. حيث إن الصوت اهتزازات في الهواء، كان من المقترح أن الضوء اهتزازات في نوع جديد من المادة تسمى الأثير ether. تمامًا مثل أن الفضاء من حولنا مليء بالهواء، فإن الكون مليء بالأثير. قضى أينشتاين على هذه الفكرة الخاصة باقتراحه الخاص للتوحيد.

كل الأفكار المهمة التي درسها علماء النظريات في الثلاثين عامًا الماضية – مثل نظرية الأوتار، والتماثل الفائق، والأبعاد الأعلى، والأنشوطة وغيرها – هي مقترحات للتوحيد. ماذا نعتبره صحيحا أو غير صحيح؟

لقد ذكرت بالفعل سمتين تميل عمليات التوحيد الناجحة إلى الاشتراك فيهما. الأولى، المفاجأة، لا يمكن الاستخفاف بها. لو لم تكون هناك مفاجأة، عندئذ إما أن تكون الفكرة غير مثيرة أو أمرا كنا نعرفه من قبل. الثانية، يجب أن تكون العواقب مهمة: يجب أن يؤدي التوحيد بسرعة إلى تبصرات وفرضيات جديدة، لتصبح المحرك الذي يقود التقدم في الفهم.

لكن هناك عاملا ثالثا يتغلب على كلا السمتين. يجب أن تقدم نظرية التوحيد الجيدة تنبؤات لم يفكر أي شخص في تقديمها من قبل. بل يجب أن تقترح أنواعًا جديدة من التجارب يكون لها معنى فقط في ضوء النظرية الجديدة. الأكثر أهمية من كل شيء، يجب أن يتم إثبات التنبؤات بواسطة التجربة.

هذه المعايير الثلاثة – المفاجأة، والتبصرات الجديدة والتنبؤات الجديدة التي يتم إثباتها بالتجربة – هي ما سنبحث عنه عندما نأتي إلى الحكم على الجهود الحالية في التوحيد.

يبدو أن علماء الفيزياء يشعرون بالحاجة العميقة للتوحيد، ويتحدث البعض كما لو أن أية خطوة نحو التوحيد يجب أن تكون خطوة نحو الحقيقة. لكن الحياة ليست بهذه البساطة. في أي وقت، قد يكون هناك أكثر من طريقة واحدة ممكنة لتوحيد الأشياء التي نعرفها – طرق تقود العلم في الاتجاهات

المختلفة. في القرن السادس عشر، كان هناك اقتراحان مختلفان جدًا للتوحيد على طاولة البحث. كانت هناك النظرية القديمة، لأرسطو وأفلاطون، وتبعًا لها كانت الكواكب موحدة مع الشمس والقمر كجزء من الكرات السماوية. لكن كان هناك أيضًا الاقتراح الجديد لكوبرنيكوس، الذي وحد الكواكب مع الأرض. كان لكل منهما عواقب كبيرة على العلم. لكن في الغالب يمكن لواحد منهما فقط أن يكون صحيحًا.

يمكننا هنا رؤية تكلفة اختيار التوحيد الخاطئ. لو أن الأرض في مركز الكون، سيكون لذلك تضمينات هائلة لفهمنا للحركة. في السماء، تغير الكواكب اتجاهها لأنها مثبتة بدوائر من طبيعتها أن تدور إلى الأبد. هذا لا يحدث أبدًا على الأرض: أي شيء ندفعه أو نرميه يعود بسرعة إلى الاستقرار. هذه هي الحالة الطبيعية للأشياء غير المثبتة بالدوائر السماوية. لذلك في كون أفلاطون وأرسطو هناك اختلاف كبير بين أن يكون شيء ما في حالة حركة أو حالة سكون.

في عالمهما، هناك أيضًا اختلاف كبير بن السماوات والأرض – الأشياء على الأرض تتبع قوانين مختلفة عن تلك المقبولة في السماء. اقترح بطليموس أن أجسامًا معينة في السماء – الشمس، والقمر والكواكب الخمسة المعروفة – تتحرك في دوائر تتحرك هي نفسها في دوائر. تلك التي يطلق عليها أفلاك التدوير epicycles جعلت من الممكن تقديم تنبؤات عن حالات كسوف الشمس وخسوف القمر وحركات الكواكب – تنبؤات كانت صحيحة في حدود جزء من كل ألف، وبذلك توضح خصوبة توحيد الشمس، والقمر

والكواكب. قدم أرسطو تفسيرًا طبيعيًا لكون الأرض في مركز الكون: كانت تتكون من مادة– الأرض، وليس من طبيعتها الحركة في دوائر لكن السعي إلى المركز.

بالنسبة لشخص يعلم وجهة النظر هذه ويألف مدى قوتها في تفسير ما نراه حولنا، يجب أن يكون اقتراح كوبرنيكوس بأن الكواكب يجب اعتبارهما على وفاق مع الأرضوليس الشمس، مثيرا للقلق إلى حد كبير. لو أن الأرض كوكب، عندئذ تكون هي وكل شيء فوقها في حالة حركة دائمة. كيف يمكن أن يحدث ذلك؟ يخرق ذلك قانون أرسطو القائل بأن كل ما ليس على الدائرة السماوية يجب أن يكون مآله السكون. ويخرق أيضًا الخبرة، لأنه لو كانت الأرض تتحرك، كيف لا نشعر بذلك؟

الإجابة عن هذا اللغز كانت أكبر توحيد في كل العلم: توحيد الحركة والسكون. اقترحه جاليليو وتم تصنيفه في قانون الحركة الأول لنيوتن، ويطلق عليه أيضًا مبدأ القصور الذاتي: الجسم في حالة سكون أو حركة منتظمة يستمر في حالة السكون أو الحركة المنتظمة هذه إلا إذا أثرت عليه القوى.

بالحركة المنتظمة يعني نيوتن الحركة بسرعة ثابتة، في اتجاه واحد. يصبح البقاء في حالة سكون مجرد حالة خاصة من الحركة المنتظمة – إنها مجرد حركة بسرعة صفر.

كيف لا يكون هناك تمييز بين الحركة والسكون؟ الحل في إدراك أنه سيان كان الجسم يتحرك أم لا ليس له معنى مطلق. يتم تعريف الحركة فقط

بالنسبة للراصد، الذي يمكنه أن يتحرك أو لا يتحرك. لو كنت تتحرك متجاوزًا إياي بمعدل ثابت، عندئذ يكون كوب القهوة الذي ألاحظ أنه في سكون على مائدتي يكون متحركًا بالنسبة إليك.

لكن ألا يمكن لراصد أن يعرف ما إذا كان يتحرك أم لا؟ بالنسبة لأرسطو، كانت الإجابة بنعم بوضوح. وكان جاليليو ونيوتن مضطرين للإجابة بلا. لو أن الأرض تتحرك ونحن لا نشعر بذلك، عندئذ يجب ألا يشعر الراصدون المتحركون بسرعة ثابتة بأي تأثير لحركتهم. ومن ثم لا نستطيع معرفة ما إذا كنا في حالة سكون أم لا، ويجب التعريف المجرد للحركة ككمية نسبية.

يوجد تنبيه مهم هنا: نحن نتكلم عن الحركة المنتظمة – الحركة في خط مستقيم. (بينما لا تتحرك الأرض بالطبع في خط مستقيم، فإن الانحرافات عنها تكون صغيرة جدًا بحيث لا يتم الشعور بها مباشرة). عندما نغير سرعة أو اتجاه حركتنا، نشعر بها. مثل هذه التغيرات هي ما نطلق عليه التسارع، ويمكن أن يكون للتسارع معنى مطلق.

يحرز جاليليو ونيوتن هنا نصرًا فكريًا بارعًا وجميلاً. بالنسبة للآخرين، كان من الواضح أن الحركة والسكون ظاهرتان مختلفتان تمامًا، ويمكن التمييز بينهما بسهولة. لكن مبدأ القصور الذاتي يوحد بينهما. لتوضيح كيف يبدوان مختلفين، اخترع جاليليو مبدأ النسبية. يخبرنا ذلك بأن التمييز بين التحرك والبقاء في حالة سكون يكون له معنى نسبي فقط بالنسبة لأي

راصد. وحيث إن الراصدين المختلفين يتحركون بشكل مختلف، فإنهم يميزون الأشياء المتحركة والساكنة بشكل مختلف. لذلك فإن حقيقة أن كل راصد يحصل على تمييز تستمر قائمة، كما يجب أن يكون. بذلك، سيان كان شيء ما يتحرك أم لا يتوقف عن كونه ظاهرة تحتاج إلى التفسير. بالنسبة لأرسطو، لو أن شيئًا يتحرك، لا بد من وجود قوة تؤثر عليه. بالنسبة لنيوتن، لو أن الحركة منتظمة، سوف تستمر إلى الأبد ولا حاجة لقوة لتفسيرها.

هذه استراتيجية قوية تكررت في النظريات اللاحقة. إحدى طرق توحيد الأشياء التي تبدو مختلفة هو توضيح أن الاختلاف الظاهري يعود إلى الاختلاف في منظور الراصدين. التمييز الذي كان يعتبر سابقًا مطلقًا يصبح نسبيًا. هذا النوع من التوحيد نادر ويمثل الشكل الأعلى في الابتكار العلمي. عندما يتم إنجازه، فإنه يغير جذريًا وجهة نظرنا عن العالم.

الاقتراحات بأن شيئين يختلفان جدًا ظاهريًا هما نفس الشيء غالبًا تتطلب كمية كبيرة من التفسيرات. فقط يمكنك أحيانًا الحصول على تفسير للاختلاف الظاهري باعتباره نتيجة لمنظورات مختلفة. في أحيان أخرى، يكون الشيئان اللذان اخترتهما لتوحيدهما مختلفين فحسب. الحاجة عندئذ لتفسير كيف تؤدي الأشياء التي تبدو مختلفة وهي نفسها حقًا بطريقة ما إلى إيقاع عالم النظريات في الكثير من المشاكل.

دعنا ننظر في عواقب اقتراح برونو بأن النجوم تشبه شمسنا فحسب. تبدو النجوم أكثر إعتامًا من الشمس. لو أنها رغم ذلك هي نفسها، عندئذ

يجب أن تكون بعيدة جدًا. المسافات التي كان عليه استخدامها كانت كبيرة، أبعد مما كان يظن أنه حجم الكون. لذلك بدا اقتراح برونو في البداية عبثيًا.

بالطبع، كان هذا تقريبا لوضع تنبؤ جديد: لو استطعت قياس المسافات إلى النجوم، قد تجد أنها في الحقيقة أكثر بعدًا بكثير عن الكواكب. لو كان ذلك ممكنًا في زمن برونو، لكان قد نجا من النار. لكن احتاج الأمر إلى قرون قبل إمكانية قياس المسافة إلى أي نجم. ما فعله برونو، بالمصطلحات العملية، كان زعمًا لا يمكن اختباره، نظرًا لوضع التقنية في زمنه. بشكل تقليدي وضع اقتراح برونو النجوم عند هذه المسافة حتى لا يمكن لأحد مراجعة فكرته.

لذلك ترغمك أحيانًا الحاجة إلى تفسير كيفية توحيد الأشياء على اقتراح فرضيات جديدة لا يمكنك ببساطة اختبارها. وهذا لا يعني، كما رأينا، أنك على خطأ، لكنه يعني أن مبتكري التوحيدات الجديدة قد يجدون أنفسهم بسهولة على أساس خطير.

وقد يصبح الأمر أسوأ من ذلك. لهذه الفرضيات عادة تجميع نفسها. احتاج كوبرنيكوس، بالفعل، إلى جعل النجوم بعيدة جدًا. لو كانت النجوم قريبة بمقدار اعتقاد أرسطو، لاستطعت دحض حركة الأرض – لأنه مع حركة الأرض، سوف تتغير المواقع الظاهرية للنجوم بالنسبة لبعضها بعضا. تفسير سبب هذه الظاهرة لم يكن معروفًا، وكان على كوبرنيكوس وزملائه الاعتقاد بأن النجوم كانت بعيدة جدًا. (بالطبع، نحن نعرف الآن أن

النجوم تتحرك أيضًا، لكنها على مسافات هائلة بحيث إن مواقعها في سمائنا تتغير ببطء بالغ).

لكن لو أن النجوم كانت بعيدة جدًا، كيف يمكننا رؤيتها؟ لا بد أن تكون لامعة جدًا، ربما بلمعان الشمس. من ثم كان اقتراح برونو بكون مملوء بما لا نهاية له من النجوم يلائم بشكل طبيعي اقتراح كوبرنيكوس بأن الأرض تتحرك كما يفعل أي كوكب.

نرى هنا أن الاقتراحات المختلفة للتوحيد تتآلف غالبًا. الاقتراح بأن النجوم تتوحد مع الشمس يتفق مع الاقتراح بأن الكواكب تتحد مع الأرض، وكلاهما يتطلب أن الحركة والسكون متحدان.

هذه الأفكار، التي كانت جديدة في القرن السادس عشر، تتناقض مع مجموعة أخرى من الأفكار. يتفق اقتراح بطليموس بأن الكواكب تتحد مع الشمس والقمر، وأنها كلها تتحرك في أفلاك التدوير مع نظرية الحركة لدى أرسطو، التي توحد كل الظواهر المعروفة على الأرض.

لذلك نصل إلى مجموعتين من الأفكار، كلاً منهما يحتوي على اقتراحات متعددة للتوحيد. لذلك، فإن المتنازع عليه غالبًا هو مجموعة كاملة من الأفكار، حيث يتم توحيد الأشياء المختلفة على مستويات مختلفة. قبل حل النزاع، قد تكون هناك أسباب جيدة للاعتقاد في صحة كل طرف. وقد يتم دعم كل طرف بالرصد. أحيانًا قد يمكن تفسير حتى نفس التجربة باعتبارها دليلا على النظريات المتنافسة للتوحيد.

لمعرفة كيف يمكن أن يحدث ذلك، افترض كرة تسقط من قمة برج. ما الذي يحدث؟ إنها تسقط على الأرض وتهبط عند قاعدة البرج. وهي لا تطير في اتجاه غربي. حسنًا، قد تقول إنه من الواضح أن كوبرنيكوس وزملاءه على خطأ، لأن هذا يثبت أن الأرض لا تدور حول محورها. لو أن الأرض تدور لكانت الكرة قد هبطت بعيدًا عن قاعدة البرج.

لكن جاليليو ونيوتن يمكنهما أيضًا الزعم بأن الكرة الساقطة تثبت نظريتهما. يقول لنا مبدأ القصور الذاتي إن الكرة لو كانت تتحرك في اتجاه الشرق مع حركة الأرض عند سقوطها، فإنها تستمر في الحركة ناحية الشرق عند سقوطها. لكن الكرة تتحرك ناحية الشرق بنفس سرعة البرج، لذلك فإنها تسقط عند قاعدة البرج. نفس الدليل الذي لعل أي فيلسوف من أتباع أرسطو قد استخدمه لإثبات أن جاليليو على خطأ اتخذه جاليليو كبرهان على أن نظريته صحيحة.

رغم ذلك كيف يمكننا تقرير ما إذا كانت عملية التوحيد المقترحة صحيحة أو خاطئة؟ عند نقطة ما، هناك رجحان للدليل. يتضح أن فرضية ما مثمرة أكثر من فرضية أخرى ولا يجد الشخص العاقل أمامه فرصة سوى الموافقة على أنه تم إثباتها. بالنسبة لثورة نيوتن، كان هناك في النهاية دليل حقيقي من الرصد على أن الأرض تتحرك بالنسبة للنجوم. لكن قبل حدوث ذلك، تم إثبات أن قوانين نيوتن صحيحة في أمثلة كثيرة بحيث لا يمكن العودة إلى الخلف.

مع ذلك، في وسط الثورة العلمية تكون هناك غالبًا حالات منطقية تظهر لدعم الفرضيات المتنافسة. نحن في مثل هذه الفترة الآن، وسوف نفحص المزاعم المتضاربة للتوحيد في الفصول التالية. سوف أبذل أقصى جهدي لشرح الأدلة التي تدعم الأطراف المختلفة، بينما أوضح سبب أن العلماء لا يزالون عليهم حتى الآن الوصول إلى إجماع عام.

بالطبع، علينا ممارسة الحذر. ليست كل الأدلة التي يُقال إنها تدعم وجهة نظر ما تكون قائمة على أساس صلب. أحيانًا تكون المزاعم المبتكرة لدعم نظرية ما فيها مشكلة هي مجرد عمليات عقلنة. قابلت حديثًا مجموعة متحمسة من الأشخاص يقفون بين الكراسي في رحلة طيران من لندن إلى تورونتو. ألقوا التحية وسألوني عن الجهة التي جئت منها، وعندما أخبرتهم بأنني عائد من مؤتمر عن علم الكون، سألوني على الفور عن وجهة نظري عن التطور. "أو، لا" فكرت في الأمر، ثم تابعت القول بأن الانتقاء الطبيعي تم إثبات صحته ولم يعد محل شك. قدموا أنفسهم باعتبارهم أعضاءً في كلية الإنجيل في طريقهم للعودة قادمين من بعثة في إفريقيا، أحد أهدافها، كما اتضح، كانت اختبار بعض من معتقدات مذهب الخلق creationism. وبينما كانوا يحاولون إشراكي في المناقشة، حذرتهم بأنهم قد يخسرون، حيث إنني أعرف الأدلة بشكل جيد إلى حد ما. "لا" أصروا، "أنت لا تعرف كل الحقائق". لذلك دخلنا في الحديث. عندما قلت، "لكنكم بالطبع تقبلون حقيقة أنا لدينا حفريات للكثير من المخلوقات التي لم تعد تعيش بعد"، أجابوا "لا!".

"ما الذي تعنون بلا؟ ماذا عن الديناصورات؟".

"الديناصورات لا تزال حية تتجول على الأرض!"

"هذا مثير للضحك! أين؟"

"في إفريقيا".

"في إفريقيا؟ إفريقيا مليئة بالناس. والديناصورات ضخمة بالفعل. لماذا لم يرها أحد؟".

"إنها تعيش في الغابة".

"برغم ذلك لا بد أن يكون قد رآها أحد. هل تزعمون بأنكم عرفتم شخصًا ما رآها؟"

"أخبرنا الأقزام أنهم يرونها بين وقت لآخر. بحثنا ولم نر أيا منها، لكننا رأينا علامات خدوش صنعوها على ارتفاع من ثماني عشرة إلى عشرين قدمًا فوق جذوع الأشجار".

"إذن توافقون على أنها حيوانات ضخمة. ودليل الحفريات يدل على أنها تعيش في قطعان كبيرة. كيف يحدث ألا يراها سوى هؤلاء الأقزام؟".

"هذا أمر سهل. إنها تقضي أغلب أوقاتهم في حالة سبات في الكهوف".

"في الغابة؟ هل توجد كهوف في الغابة؟"

"نعم، بالطبع، لما لا؟"

"هل الكهوف من الضخامة بحيث يدخل فيها ديناصور هائل؟ لو أن الكهوف بهذه الضخامة، كان من السهل العثور عليها، ويمكنكم البحث داخلها ورؤيتها وهي نائمة".

"لكي تحمي نفسها، وهي في حالة سبات، تغلق الديناصورات فتحات كهوفها بالوحل حتى لا يعرف أحد أنهم هناك".

"كيف تغلق الديناصورات الكهوف بشكل جيد بحيث لا يستطيع أحد رؤيتها؟ هل تستخدم مخالبها، أو ربما تدفع الوحل بأنوفها؟".

عند هذه النقطة، اعترف أنصار مذهب الخلق بأنهم لا يعرفون، لكنهم قالوا لي إن "علماء البيولوجيا الإنجيليين" من مدرستهم كانوا في الغابات الآن، يبحثون عن الديناصورات.

"تأكدوا من جعلي أعرف أنهم أحضروا واحدا من تلك الحيوانات حيًا"، هذا ما قلته، وعدت إلى مقعدي.

لا أخترع هذا، ولا أقوله لمجرد تسليتك. إنه يصور أن العقلانية ليست دائمًا ممارسة بسيطة. أحيانًا يكون من العقلانية نبذ نظرية ما تتبؤ بشيء لم تتم رؤيته أبدًا. لكن قد يكون هناك أحيانًا سبب جيد لشيء ما لم تتم رؤيته أبدًا. على أي حال، لو أن هناك ديناصورات، لا بد أنها تختفي في مكان ما. فلماذا لا تكون في كهف إفريقي؟

قد يبدو ذلك سخيفًا، لكن علماء فيزياء الجسيمات شعروا أكثر من مرة بالحاجة إلى ابتكار جسيم غير مرئي، مثل النيوترينو، حتى يجعلوا هناك معنى لنتائج نظرية أو رياضية معينة. لشرح سبب أنه كان من الصعب رصدها، كان عليهم جعل النيوترينو يتفاعل بضعف شديد. في هذه الحالة، كانت تلك استراتيجية صحيحة، لأنه لسنوات عدة لاحقة كان من الممكن ابتكار تجربة للعثور على جسيمات النيوترينو. ولقد تفاعلت بضعف شديد.

لذلك يكون من المنطقي أحيانًا عدم التخلص من نظرية جيدة عندما تتنبأ بأشياء لم تتم رؤيتها. أحيانًا يتضح أن افتراضات كنت مرغمًا على ابتكارها تكون صحيحة. بابتكار مثل هذه الافتراضات، لا يمكنك فقط الإبقاء على مصداقية فكرة ما لكنها تتنبأ أحيانًا أيضًا بظواهر جديدة. لكن في لحظة ما تبدأ في التوسع في السذاجة. ربما يصف ذلك هنا الديناصورات التي تسكن في كهف. تمامًا عندما تتجاوز النقطة التي تكون عندها فكرة جيدة قد بدأت ذات مرة تحمل قيمة تكون المشكلة في البداية مسألة حكم. يكون هناك بالتأكيد حالات لا يوافق عليها الأشخاص جيدو التدريب والأذكياء. لكن في النهاية يتم الوصول إلى نقطة حيث يكون هناك رجحان دليل على أن شخصًا عقلانيًا منصفًا يرى أن الفكرة صحيحة.

إحدى طرق تخمين ما إذا كنت قد وصلت إلى هذه النقطة أم لا هي النظر في أن تكون الفكرة منقطعة النظير. خلال أي ثورة علمية، يهدد الكثير من مقترحات التوحيد الموجودة غالبًا على مائدة البحث في وقت ما، بأخذ العلم إلى اتجاهات متضاربة. هذا أمر عادي، وفي وسط الثورة لا حاجة لأن

يكون المرء عقلانيًا لتفضيل فكرة على أخرى. في مثل هذه الأوقات، حتى الأشخاص بالغي الذكاء الذين يختارون من بين وجهات نظر متنافسة سوف يكونون غالبًا على خطأ في أقرب وقت.

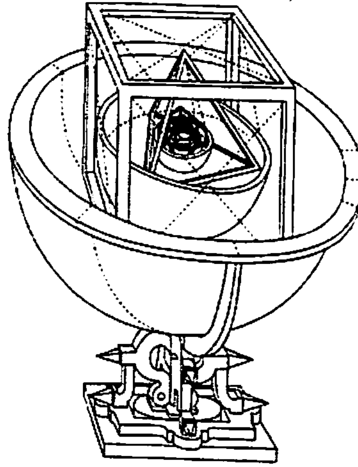
لكن أحد اقتراحات التوحيد قد ينتهي به الأمر لأن يفسر أكثر من غيره بكثير، وعادة ما يكون هو التفسير الأكثر بساطة. عند هذه النقطة، عندما يكون اقتراح واحد أعلى من غيره بالنسبة لجيل من التبصرات الجديدة، والاتفاق مع التجربة، والقوة التفسيرية والبساطة، فإنه يتخذ مظهر أن يكون فريدًا من نوعه. نقول إن له رنة صدق.

لمعرفة كيف يحدث ذلك، دعنا ننظر في ثلاث حالات توحيد اقترحها شخص واحد، هو عالم الفلك الألماني جوهانس كبلر Johannes Kepler (١٥٧١ – ١٦٣٠). كان ما يستحوذ على فكر كبلر طوال حياته هو الكواكب. وحيث إنه كان يعتقد بأن الأرض كوكب، عرف منها ستة، من عطارد حتى زحل. كان قد تم رصد حركتها في السماء منذ آلاف السنين، لذلك كان هناك الكثير من البيانات. أتت أكثر البيانات دقة من تيكو براهي Tycho Brahe، عالم الفلك الدانمركي. أخيرًا ذهب كبلر للعمل لدى تيكو للحصول على بياناته (وسرقها بعد وفاة تيكو، لكن تلك قصة أخرى).

كل مدار كوكبي له نصف قطر. ولكل كوكب أيضًا سرعة مدارية. يضاف إلى ذلك، أن السرعات ليست متماثلة، وتزداد سرعة الكواكب وتنخفض وهي تتحرك حول الشمس على مداراتها. كل هذه الأرقام كان

يُنظر لها على أنها اعتباطية. كان كبلر يبحث طوال حياته عن مبدأ يوحد حركات الكواكب و، إذا فعل ذلك، يفسر بيانات المدارات الكوكبية.

أول محاولة لكبلر لتوحيد الكواكب كانت تتفق مع التراث القديم بأن النظرية الكونية يجب أن تستخدم فقط أبسط الأشكال. أحد أسباب إيمان اليونانيين بالدوائر التي تتحرك في دوائر هو أن الدائرة هي الأكثر بساطة ومن ثم، بالنسبة إليهم، هي الأكثر جمالاً بين المنحنيات المغلقة. بحث كبلر عن أشكال هندسية لها جمال مماثل قد تفسر أحجام مدارات الكواكب. ووانه فكرة بالغة الأناقة، موضحة في الشكل ١.



الشكل ١: أول نظرية لكبلر عن المجموعة الشمسية، تقوم على المجسمات الأفلاطونية.

دعنا نأخذ مدار الأرض كما هو موضح. هنا، من ثم، خمسة أرقام يجب شرحها: النسبة بين قطر مدارات الكواكب الخمسة الأخرى وقطر مدار الأرض. لو تم شرحها، يجب أن تكون هناك بنية هندسية ما جميلة تعطي بالضبط أرقام خمسة. لا أكثر ولا أقل. إذن هل هناك مسألة في الهندسة يكون فيها خمس إجابات مضبوطة؟

نعم. المكعب هو نوع كامل من المجسمات، لأن كل جانب هو نفسه مثل كل جانب آخر، وكل ضلع له نفس طول الأضلاع الأخرى. مثل هذه المجسمات يطلق عليها مجسمات أفلاطونية. ما عددها؟ بالضبط خمسة: بجانب المكعب، يوجد رباعي السطوح، والمجسم الثماني، والمجسم ذو الاثنى عشر سطحًا والمجسم ذو العشرين وجهًا.

لم يستغرق كبلر وقتًا طويلاً لإنجاز اكتشاف مذهل. لقد ثبت مدار الأرض على كرة. ووضع مجسمًا ذا اثنى عشر سطحًا ملائمًا حول الكرة. ووضع كرة حول ذلك. تلائم مدار المريخ مع هذه الكرة. ووضع رباعي السطوح حول الكرة، وكرة أخرى حول رباعي السطوح. تلائم المشترى مع الكرة. وحول المشتري كان يدور مكعب، وخلفه زحل. داخل مدار الأرض وضع كبلر المجسم ذا العشرين وجهًا، وحوله كان يدور الزهرة، وداخل مدار الزهرة كان هناك مجسم ثماني لعطارد.

فسرت نظرية التوحيد هذه أقطار مدارات الكواكب، وهو أمر لم تفعله أية نظرية من قبل. كان هذا التوحيد جميلا رياضيًا. لماذا إذن لم يتم الإيمان به؟ بقدر ما كان يتطلب الاهتمام، لم يؤد إلى أي شيء. لم يتم التنبؤ بأية

ظاهرة على أساسه. لم يؤد حتى إلى فهم للسرعات المدارية للكواكب. كانت الفكرة استاتيكية إلى حد كبير، تلك الفكرة التي تم توحيدها، لكنها لم تأخذ العلم إلى أي مكان يثير الاهتمام.

فكر كبلر في ذلك لمدة طويلة. حيث إن أقطار المدارات التى تم تفسيرها، كان في حاجة فقط لتفسير سرعات الكواكب المختلفة. أخيرًا اقترح أنه كما أن الكواكب تنتقل فإنها "تغني"، وذبذبات النغمات تتناسب مع سرعاتها. المدى بين النغمات التي تُغنى بواسطة الكواكب المختلفة وهي تنتقل في مداراتها ينتج عنها هارموني من ستة أصوات، أطلق عليه هارموني الكرات.

لهذه الفكرة أيضًا جذور قديمة، تعود إلى اكتشاف فيثاغورس أن جذور الهارموني الموسيقي في النسب بين الأعداد. لكنها كانت تعاني من مشاكل واضحة. لم تكن فريدة من نوعها: كان هناك الكثير من التوليفات الهارمونية لستة أصوات. بل هناك ما هو أسوأ، اتضح أن هناك أكثر من ستة كواكب. واكتشف جاليليو، المعاصر لكبلر، أربعة أقمار تدور حول المشتري. إذن كان لا يزال هناك منظومة أخرى للمدارات في السماء. لو أن نظريات كبلر كانت صحيحة، كان لا بد من أنها تنطبق على منظومة تم اكتشافها حديثًا. لكن هذا لم يحدث.

باستثناء هذين المقترحين للبنية الرياضية للكون، توصل كبلر إلى ثلاثة اكتشافات أدت إلى تقدم حقيقي للعلم. تلك كانت القوانين الثلاثة التي يشتهر بها الآن، قدمها بعد سنوات قضاها في التحليل المثابر للبيانات التي سرقها

من تيكو. لم يكن لها جمال اقتراحاته الأخرى، لكنها كانت ناجحة. ويضاف إلى ذلك، أنجز إحدى هذه القوانين أمرًا لم يكن كبلر يستطيع إنجازه بأية طريقة أخرى، وهو التوصل إلى علاقة بين سرعات وأقطار المدارات. لا تتفق القوانين الثلاثة لكبلر فقط مع البيانات عن الكواكب الستة، لكنها تتفق أيضًا مع الأرصاد عن أقمار المشتري.

اكتشف كبلر هذه القوانين لأنه أخذ توحيد كوبرنيكوس إلى نتيجته المنطقية. كان كوبرنيكوس قد قال بأن الشمس في مركز الكون (أو بالقرب منه بالفعل)، لكن في نظريته تتحرك الكواكب بنفس الطريقة، سواء كانت الشمس في هذا الموقع أم لا. كان دورها الوحيد هو إضاءة المشهد. نجاح نظرية كوبرنيكوس قاد كبلر إلى التساؤل حول ما إذا كان قرب الشمس من مركز كل مدار لكوكب يمكن بالفعل أن يكون صدفة. تساءل حول ما إذا كان على الشمس بدلاً عن ذلك أن تلعب دورًا في التسبب في المدارات الكوكبية. هل يصدر عن الشمس بطريقة ما قوة تؤثر على الكواكب، وهل من المحتمل أن تفسر هذه القوة حركاتها؟

للإجابة عن هذا السؤال كان على كبلر أن يعثر على دور للموقع المحدد للشمس في كل مدار. أول اختراقاته الكبيرة كان اكتشاف أن المدارات ليست دوائر، إنها أشكال قطع ناقص. وللشمس دور محكم: إنها بالضبط في بؤرة القطع الناقص لكل مدار. كان هذا هو القانون الأول. بعد وقت قصير اكتشف قانونه الثاني، وهو أن سرعة الكوكب في مداره تتزايد أو تتناقص

كلما اقترب في حركته من الشمس أو ابتعد عنها. اكتشف في ما بعد القانون الثالث، الذي يتحكم في الارتباط بين سرعات الكواكب.

تشير هذه القوانين إلى حقيقة عميقة تقوم بتوحيد المجموعة الشمسية، لأن القوانين تنطبق على كل الكواكب. الحساب النهائي أن لدينا لأول مرة نظرية يمكنها تقديم تنبؤات. افترض أنه تم اكتشاف كوكب جديد. هل يمكننا التنبؤ بما سيكون عليه مداره؟ قبل كبلر، لم يكن في استطاعة أحد أن يفعل ذلك. لكن بعد توافر قوانين كبلر، كل ما نحتاج إليه رصدين لموقعه ويمكننا التنبؤ بمداره.

مهدت هذه الاكتشافات الطريق لنيوتن. كان التبصر العظيم لنيوتن معرفة أن القوة التي تبذلها الشمس على الكواكب هي نفسها قوة الجاذبية التي تمسك بنا على الأرض، ومن ثم أن يتم توحيد الفيزياء في السماوات مع فيزياء الأرض.

بالطبع، فكرة وجود قوة تنطلق من الشمس إلى الكواكب كانت عبثية بالنسبة لأغلب العلماء في ذلك الوقت. كانوا يعتقدون بأن الفضاء فارغ، وأنه لا يوجد شيء وسطي يمكنه نقل هذه القوة. يضاف إلى ذلك، أنه لم يكن هناك ظهور مرئي لها – لا يوجد ذراع يمتد من الشمس إلى كل كوكب – وليس هناك أي شيء غير مرئي يمكن أن يكون حقيقيًا.

هنا توجد دروس جيدة حول ما يمكن أن تكون عليه وسائل التوحيد. واحد منها هو أن الجمال الرياضي يمكن أن يكون مضللاً. والأرصاد

البسيطة الناتجة عن البيانات تكون أكثر أهمية غالبًا. الدرس الآخر أن حالات التوحيد الصحيحة لها عواقب بالنسبة للظواهر غير المشكوك فيها في زمن ابتكار التوحيد، كما هي حالة تطبيق قوانين كبلر على أقمار المشتري. تطرح حالات التوحيد الصحيحة أيضًا أسئلة قد تبدو عبثية في وقت ما لكنها تؤدي إلى المزيد من حالات التوحيد، كما هو حال فرضية كبلر لقوة من الشمس إلى الكواكب.

الأكثر أهمية، أننا نعرف أن الثورة الحقيقية تتطلب غالبًا أن تقوم عدة افتراضات جديدة للتوحيد معًا بدعم بعضها البعض. في الثورة النيوتنية، كانت هناك حالات توحيد مفترضة انتصرت في الوقت نفسه: توحيد الأرض مع الكواكب، وتوحيد الشمس مع النجوم، وتوحيد حركة السكون والحركة المنتظمة، وتوحيد قوة الجاذبية على الأرض مع القوة التي تؤثر بها الشمس على حركات الكواكب. لم يكن لأي من هذه الأفكار أن تبقى وحدها، ومعًا هزمت ما ينافسها. كانت النتيجة ثورة غيرت كل جوانب فهمنا للطبيعة.

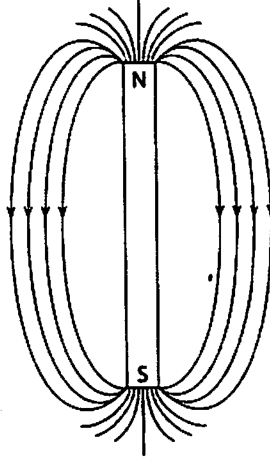
في تاريخ الفيزياء، هناك توحيد واحد قام بدور أكثر من حالات التوحيد الأخرى باعتباره نموذجًا لما كان يحاول علماء الفيزياء عمله في الثلاثين سنة الماضية. إنه توحيد الكهرباء والمغناطيسية، والذي أنجزه جيمس كلارك ماكسويل في ستينيات القرن التاسع عشر. استخدم ماكسويل فكرة قوية تسمى المجال، الذي كان قد ابتكره عالم الفيزياء البريطاني مايكل فاراداي Micheal Faraday في أربعينيات القرن التاسع عشر لتفسير كيفية نقل قوة ما خلال الفضاء الخالي من جسم إلى آخر. الفكرة أن المجال كمية،

مثل العدد، يوجد واحد منه في كل نقطة من المكان. عندما تتحرك في المكان، تتغير قيمة المجال باستمرار. قيمة المجال عند نقطة بمفردها تتطور أيضًا مع الزمن. تعطينا النظرية قوانين تخبرنا بكيفية تغير المجال وأنت تتحرك في المكان خلال الزمن. تقول لنا هذه القوانين إن قيمة المجال عند نقطة معينة تتأثر بقيمة المجال في النقاط القريبة. يمكن للمجال عند نقطة ما أن يتأثر أيضًا بجسم مادي عند نفس النقطة. لذلك يمكن لمجال ما أن يحمل قوة من جسم ما إلى جسم آخر. ليست هناك حاجة إلى الاعتقاد بوجود تأثير شبحي عند مسافة ما.

كان أحد المجالات التي درسها فاراداي هو المجال الكهربائي. ليس هذا عدد بل متجه، وهو ما علينا تصوره باعتباره سهمًا، والذي يمكن له أن يغير اتجاهه وطوله. تخيل مثل هذا السهم عند كل نقطة في المكان. تخيل أن نهايات الأسهم عند النقاط القريبة متصلة ببعضها البعض بأشرطة مطاطية. لو جذبت واحدا منها، فإنه يجذب تلك القريبة. وتتأثر الأسهم أيضًا بالشحنات الكهربائية. أثر هذه التأثيرات هو أن الأسهم تنظم نفسها بحيث تشير إلى الشحنات السالبة القريبة وتشير بعيدًا عن الشحنات الموجبة القريبة.

درس فاراداي أيضًا المغناطيسية. ابتكر مجالاً آخر، مجموعة أخرى من الأسهم، أطلق عليها المجال المغناطيسي، وتميل هذه الأسهم إلى الإشارة إلى قطبي المغناطيس (انظر الشكل ٢).

كتب فاراداي قوانين بسيطة لوصف كيفية تأثر أسهم المجال الكهربائي والمغنطيسي بواسطة الشحنات والأقطاب المغناطيسية القريبة وأيضًا بأسهم المجالات القريبة. واختبر هو وآخرون القوانين ووجدوا أنها تعطي تنبؤات تتفق مع التجربة.



الشكل ٢: خطوط القوة تحدد المجال المغناطيسي الذي يظهر من قضيب مغناطيسي.

من بين اكتشافات ذلك الوقت كانت الظواهر التي تخلط التأثيرات الكهربائية والمغناطيسية. على سبيل المثال، شحنة تتحرك في دائرة تؤدي إلى ظهور مجالات مغناطيسية. أدرك ماكسويل أن هذه الاكتشافات تشير إلى توحيد بين الكهرباء والمغناطيسية. لتوحيدهما تمامًا، كان عليه تغيير المعادلات. وعندما فعل ذلك، بأن أضاف ببساطة حدًا واحدًا، أصبح توحيده توحيد له توابع.

سمحت المعادلات الجديدة للمجلات الكهربائية والمغناطيسية لأن تتحول إلى بعضهما البعض. وسمحت هذه التحولات بظهور موجات أنماط متغيرة، تتحرك خلال المكان. ويمكن الحصول على هذه الأنماط المتحركة، من بين أشياء أخرى، بواسطة إحداثِ تموج في شحنة كهربائية إلى الخلف وإلى الأمام. يمكن للموجات الناتجة أن تحمل طاقة من مكان إلى آخر.

كان الأمر الأكثر إثارة للدهشة أن ماكسويل استطاع حساب سرعة هذه الموجات من هذه النظرية، ووجد أنها هي نفس سرعة الضوء. ولعل ذلك قد صدمه. الموجات التي تمر عبر المجالين الكهربائي والمغناطيسي هي ضوء. لم يكن في تخطيط ماكسويل وضع نظرية عن الضوء، كان يخطط لتوحيد الكهرباء والمغناطيسية. وبفعله هذا، أنجز شيئًا أكثر أهمية. هذا مثال حول كيف يكون للتوحيد الجيد نتائج غير متوقعة لكل من النظرية والتجربة.

تبع ذلك على الفور تنبؤات جديدة. أدرك ماكسويل أنه لا بد من وجود موجات كهرومغناطيسية بكل الترددات، ليس فقط الخاصة بالضوء المرئي، وأدى ذلك إلى اكتشاف الراديو، والضوء تحت الأحمر، والضوء فوق البنفسجي..إلخ. ويصور ذلك درسًا تاريخيًا آخر: عندما يقترح شخص ما التوحيد الصحيح الجديد، تصبح التضمينات واضحة بسرعة كبيرة. وتمت ملاحظة الكثير من هذه الظواهر في السنة الأولى بعد نشر ماكسويل لنظريته.

يطرح هذا فكرة ستصبح مهمة عندما نناقش اقتراحات أخرى للتوحيد. كل حالات التوحيد لها توابع لأنها تؤدي إلى ظواهر تظهر لأن الأشياء التي تم

التوحيد بينها يمكن أن تتحول إلى بعضها البعض. في الحالات الجيدة، تتم بعد وقت قصير معرفة هذه الظواهر الجديدة - للمبتكرين كل الحق في الإعلان عن التوحيد. لكننا سنرى أنه في حالات أخرى تكون الظواهر المتنبأ بها متعارضة بالفعل مع الملاحظة. في هذه الواقعة البائسة، يكون على المؤيدين إما التخلي عن نظريتهم أو تقييدها بشكل غير طبيعي لإخفاء توابع التوحيد.

لكن حتى رغم انتصار توحيد ماكسويل للكهرباء والمغناطيسية فإنه واجه عقبة مخيفة. في منتصف القرن التاسع عشر، اعتقد أغلب علماء الفيزياء بأن الفيزياء تم توحيدها لأن كل شيء مصنوع من المادة (ويجب أن يكون كذلك، حتى يتلاءم مع قوانين نيوتن). بالنسبة لهؤلاء "المؤمنين بالمذهب الآلي mechanists"، فإن فكرة مجال يتموج فحسب في المكان كان من الصعب الاقتناع بها. لم يكن لنظرية ماكسويل معنى بالنسبة إليهم بدون مادة يؤلف التواؤها وتمددها الواقع الحقيقي وراء المجالات الكهربائية والمغناطيسية. شيء ما مادي يجب أن يختلج عندما تنتقل موجة ضوء من زهرة إلى عين شخص ما.

كان فاراداي وماكسويل نفسيهما من المؤمنين بالمذهب الآلي، وكرسا الكثير من الوقت والمشقة للتعامل مع هذه المشكلة. لم يكونا وحدهما، ولقد حصل شاب نبيل على مهن جيدة في مواقف شهيرة بابتكار بنى مستفيضة لتروس، وبكرات وأحزمة مجهرية من المفترض أنها تتضمن معادلات ماكسويل. وتم إعطاء جوائز لمن استطاعوا حل المعادلات المعقدة الناتجة.

كان هناك ظهور كبير وواضح للمشكلة، وهي أن الضوء ينتقل إلينا من الشمس والنجوم، وأن الفضاء الخارجي يخلو من أي مادة. هل كانت هناك مادة في الفضاء، قد تعيق حركة الكواكب، والتي استغرقت بذلك وقتًا طويلاً منذ سقوطها في الشمس. لكن كيف يمكن للمجالات الكهربائية والمغناطيسية أن تبقى في الفراغ؟

لذلك ابتكر المؤمنون بالمذهب الآلي – الأثير – وملأوا الفضاء به. للأثير خواص متناقضة: يجب أن يكون بالغ الكثافة والصلابة، لأن الضوء كان عليه من الناحية الجوهرية أن يكون موجة صوت من خلاله. النسبة الهائلة لسرعة الضوء إلى سرعة الصوت كان يجب أن تكون نتيجة لكثافة لا تصدق للأثير. في نفس الوقت، كان على الأثير أن يقدم عدم مقاومة مطلقة لمرور المادة العادية خلاله. وكان ذلك أكثر صعوبة مما يبدو من أن يتم الحصول عليه. يمكن للمرء أن يقول فحسب إن الأثير والمادة العادية لا يتفاعلان مع بعضهما البعض – أي، إنهما لا يبذلان أية قوة على بعضهما البعض. لكن عندئذ لماذا تكشف المادة العادية الضوء – أو المجالات الكهربائية والمغناطيسية – لو أنها مجرد إجهادات في الأثير؟ ولا يثير الدهشة أن درجات الأستاذ الجامعي كان يتم إعطاؤها لأولئك الذين كانوا يعملون في كل هذه المجالات.

هل كان من الممكن وجود توحيد أكثر جمالاً من نظرية الأثير؟ لم يتم فقط التوحيد بين الضوء، والكهرباء والمغناطيسية، ولكن تم أيضًا توحيد توحيدهم مع المادة.

ومع ذلك، بينما كان يتم تطوير نظرية الأثير، كان مفهوم علماء الفيزياء عن المادة يتغير أيضًا. في بداية القرن التاسع عشر، كان أغلب علماء الفيزياء يعرفون عن المادة كمتصل، لكن تم اكتشاف الإلكترونات في أواخر القرن، وعندئذ تم أخذ فكرة أن المادة مصنوعة من ذرات مأخذًا أكثر جدية – على الأقل من قبل بعض علماء الفيزياء. لكن هذا طرح سؤالاً آخر: ما الذرات والإلكترونات في عالم مصنوع من الأثير؟

تصور خطوط المجال، مثل خطوط مجال مغناطيسي تنطلق من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي لمغناطيس. لكن يمكنها أن تصنع دوائر مغلقة، ويمكن لهذه الدوائر أن تربط نفسها على هيئة عقد. لذلك ربما تكون الذرات عقدا في خطوط المجال.

لكن كما يعرف كل بحار، هناك طرق مختلفة لربط العقد. وقد يكون هذا أمرًا جيدًا، لأن هناك أنواعا مختلفة من الذرات. في ١٨٦٧ اقترح لورد كلفن أن الذرات المختلفة قد تناظر عقدا مختلفة.

قد يبدو ذلك عبثيًا، لكن تذكر أنه كان في زمن كنا نعرف فيه القليل جدًا عن الذرات. لم نكن نعرف أي شيء عن النوى، ولم نكن قد سمعنا أبدًا عن البروتونات والنيوترونات. لذلك لم يكن ذلك بالجنون الذي بدا عليه.

في ذلك الوقت، كنا نعرف القليل جدًا أيضًا عن العقد. لم يعرف أحد بوجود الكثير من الطرق لربط عقدة أو كيفية جعلها تنفصل. لذلك، وقد ألهمتهم هذه الفكرة، بدأ علماء الرياضيات في دراسة مشكلة التمييز بين العقد

الممكنة المختلفة. تحول هذا ببطء إلى مجال كامل من الرياضيات التي أطلق عليها نظرية العقدة. وبعد وقت قصير تم إثبات أن هناك عددًا لانهائيا من الطرق المميزة لربط عقدة، لكن احتاج الأمر إلى وقت طويل لتعلم كيفية فصلها. تم إنجاز بعض التقدم في الثمانينيات، لكن لا يزال من غير المعروف وجود إجراء ليخبرنا بما إذا كانت عقدتان معقدتان هما نفسهما أم مختلفتان.

لاحظ كيف يمكن لفكرة توحيد جيدة، حتى لو اتضح أنها خاطئة، أن تلهم بسبل جديدة للتحقيق. رغم ذلك، علينا معرفة أن مجرد وجود سبب يجعل نظرية توحيد مثمرة لعلماء الرياضيات لا يعنى أن النظرية الفيزيائية صحيحة. ما عدا ذلك، فإن نجاح نظرية عقدة قد يتطلب منا أن نظل على اعتقاد بأن الذرات عقد في مجال مغناطيسي.

كانت هناك مشكلة أخرى. بدا أن نظرية ماكسويل تتناقض مع مبدأ النسبية من فيزياء نيوتن. اتضح أنه بإجراء تجارب مختلفة، بما فيها قياس سرعة الضوء، يمكن لراصدين يدرسون مجالاً كهرومغناطيسيًا أن يخبرونا بما إذا كانوا يتحركون أم لا.

وهنا يوجد تباين بين التوحيدين، وكلاهما أساسي في فيزياء نيوتن: توحيد كل شيء حيث المادة تخضع لقوانين نيوتن في مواجهة توحيد الحركة والسكون. بالنسبة للكثير من علماء الفيزياء، كانت الإجابة واضحة: فكرة كون مادي كانت أكثر أهمية من الحقيقة التي قد تكون عرضية بأنه من الصعب رصد الحركة. لكن قلة هي التي أخذت مبدأ النسبية باعتباره أكثر

أهمية. أحد هؤلاء كان طالبا شابا يدرس في زيوريخ اسمه ألبرت أينشتاين. تأمل في اللغز لمدة عشر سنوات، وبدأ وعمره ١٦ عامًا، وأخيرًا، في ١٩٠٥، أدرك أن الحل يتطلب تعديلاً كاملاً لفهمنا للمكان والزمن.

حل أينشتاين اللغز بلعب نفس الخدعة الكبيرة التي كان قد لعبها في الأصل نيوتن وجاليليو لتأسيس نسبية الحركة. أدرك أن التمييز بين الظواهر الكهربائية والمغناطيسية تعتمد على حركة الراصد. لذلك كان توحيد ماكسويل أكثر عمقًا حتى مما كان ماكسويل قد ظنه. ليس فقط أن المجالات الكهربائية والمغناطيسية كانت جوانب مختلفة من ظاهرة واحدة، لكن الراصدين المختلفين يمكنهم ملاحظة التميز بشكل مختلف، أي، قد يفسر أحد الراصدين ظاهرة خاصة بمصطلحات الكهرباء، بينما قد يفسر الراصد الآخر، الذي يتحرك بالنسبة للأول، نفس الظاهرة بمصطلحات المغناطيسية. لكن الاثنين قد يتفقان حول ما كان يحدث. وهكذا ولدت النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، كدمج بين توحيد جاليليو للسكون والحركة وتوحيد ماكسويل للكهرباء والمغناطيسية.

ينتج الكثير من ذلك. إحدى النتائج أن الضوء لا بد أن تكون له سرعة شاملة، مستقلاً عن حركة الراصد. والأخرى أنه لا بد من وجود توحيد بين المكان والزمن. في السابق، كان هناك تمييز واضح: الزمن كان شاملاً، وأي شخص سيوافق على معنى حدوث أمرين في نفس الزمن. أوضح أينشتاين أن الراصدين في حالة حركة بالنسبة لكل منهما الآخر قد لا يتفقان حول ما إذا كان حدثان في مكانين مختلفين يحدثان في نفس الزمن أم لا. كان هذا

التوحيد ضمنيًا في بحثه عام ١٩٠٥ بعنوان "عن الديناميكا الكهربائية للأجسام المتحركة"، وتم الإفصاح عنه بوضوح في ١٩٠٧ بواسطة أحد أساتذته هرمان منكوفسكي Hermann Minkowski.

لذلك لدينا هنا قصة عن محاولتين متنافستين للتوحيد. كان لدى المؤمنين بالمذهب الآلي فكرة جميلة عن فيزياء موحدة: كل شيء مادة. اعتقد أينشتاين بنوع آخر من التوحيد، توحيد الحركة والسكون. لدعم ذلك، كان عليه ابتكار توحيد أعمق أيضًا – للمكان والزمن. في كل حالة، يصبح شيء ما كان يُظن بأنه مميز تمامًا مميزًا فقط بالنسبة لحركة الراصد.

في النهاية، تم حل التناقض بين اقتراحي التوحيد بواسطة التجربة. لو كنت تصدق المؤمنين بالمذهب الآلي، فإنك تصدق بأن أي راصد يمكنه قياس سرعته خلال الأثير. لو أنك صدقت أينتشاين، فأنت تعرف أنه لا يمكنه أن يفعل ذلك، حيث إن كلا الراصدين متساوان.

تم إجراء الكثير من المحاولات لرصد حركة الأرض خلال الأثير قبل ١٩٠٥، عندما كان أينشتاين قد اقترح النسبية الخاصة، وفشلت هذه المحاولات[١]. أنصار نظرية الأثير كانوا قد عدلوا فحسب تنبؤاتهم ليجعلوا رصد حركة الأرض أصعب فأصعب. كان من السهل فعل ذلك، لأنهم عندما أجروا الحسابات استخدموا معادلة ماكسويل، التي، عندما يتم تفسيرها بشكل صحيح، تتفق مع توقعات أينشتاين بأن الحركة كان من غير الممكن رصدها. أي، كان لدى المؤمنين بالمذهب الآلي بالفعل المعادلات الصحيحة، وكان لديهم فحسب التفسيرات الخاطئة.

بالنسبة لأينشتاين نفسه، ليس من الواضح مدى ما كان يعرفه عن التجارب المبكرة، لكنها لم تكن تهمه، لأنه كان مقتنعًا بالفعل بأن حركة الأرض لم تكن قابلة للرصد. كان أينشتاين بالفعل في بداية أبحاثه. كما سنرى في الفصل القادم، كان توحيده للمكان والزمن على وشك التعميق إلى حد كبير. في ذلك الوقت كان علماء الفيزياء مفتونين به وقبلوا نظرية النسبية الخاصة، وكان أينشتاين ينتقل بالفعل إلى ما هو أبعد منها.

٣

العالم بوصفه هندسة

شهدت العقود الأولى من القرن العشرين محاولات متعددة للتوحيد. قلة منها هي التي نجحت، وفشلت البقية. لحكي قصصها باختصار، يمكننا استخلاص دروس سوف تساعدنا في فهم أزمة مواجهة المحاولات الحالية للتوحيد.

من نيوتن حتى أينشتاين، سيطرت فكرة واحدة: العالم غير مصنوع سوى من المادة. حتى الكهرباء والمغناطيسية كانتا مظهرين للمادة – مجرد إجهادات في الأثير. لكن هذا التصور الجميل تحطم عندما انتصرت النسبية الخاصة، لأنه لو كان مجمل مفهوم البقاء في حالة سكون أو حركة لا معنى له، فلا بد أن يكون الأثير خيالاً.

كان على البحث عن التوحيد أن يتوجه إلى مكان ما، وكان هناك بالفعل مكان واحد للتوجه إليه. كان عليه أن يقلب نظرية الأثير: لو أن المجالات غير مصنوعة من المادة، ربما تكون المجالات مادة أساسية. عندئذ يجب أن تكون المادة مصنوعة من المجالات. وكانت هناك بالفعل نماذج للإلكترونات والذرات باعتبارها إجهادات في المجالات، لذلك لم تكن تلك خطوة كبيرة.

لكن حتى وتلك الفكرة تكتسب أنصارًا، ظلت هناك ألغاز. على سبيل المثال، هناك نوعان مختلفان من المجالات، المجال الجاذبي والمجال الكهرومغناطيسي. لماذا يكونان مجالين وليس مجالاً واحدًا؟ هل هذه هي نهاية الحكاية؟ التوق إلى التوحيد أجبر علماء الفيزياء على التساؤل حول ما إذا كانت الجاذبية والكهرومغناطيسية مظهرين لظاهرة واحدة. وهكذا وُلد البحث عن ما نسميه الآن نظرية المجال الموحد.

حيث إن أينشتاين قد دمج فحسب الكهرومغناطيسية في نظريته النسبية الخاصة، فإن الطريقة الأكثر منطقية كانت تعديل نظرية نيوتن عن الجاذبية لجعلها متسقة مع النظرية النسبية. اتضح أنه من السهل فعل ذلك. ليس هذا فقط، لكن هذا التعديل أدى إلى اكتشاف مدهش سوف يصبح قلب نظريات التوحيد حتى يومنا هذا. في ١٩١٤، توصل عالم فيزياء فنلندي اسمه جونار نوردستروم Gunner Nordstrom أنك لكي توحد بين الجاذبية والكهرومغناطيسية ليس عليك سوى زيادة أبعاد المكان بواحد. وكتب المعادلات التي تصف الكهرومغناطيسية في عالم ذي أبعاد أربعة للمكان (وواحد للزمن)، وظهرت الجاذبية بشكل مفاجئ. فقط ببعد إضافي للمكان، يمكنك الحصول على توحيد بين الجاذبية والكهرومغناطيسية وهو ما كان يتسق أيضًا مع نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين.

لكن لو كان هذا صحيحا، ألا نستطيع النظر في هذا البعد الجديد، كما ننظر إلى الأبعاد الثلاثة للمكان؟ لو لم يكن الأمر كذلك، ألا تعتبر هذه النظرية خاطئة بوضوح؟ لتجنب هذه القضية المزعجة، يمكننا جعل البعد

الجديد دائرة، بحيث عندما ننظر إليه، نكون في الحقيقة ندور حوله ونعود إلى نفس المكان(١). عندئذ يمكننا جعل قطر الدائرة بالغ الصغر، بحيث لا يمكننا بالمرة رؤية هذا البعد الإضافي. لفهم كيف أن تقليص شيء ما يجعل من المستحيل رؤيته، تذكر أن الضوء مصنوع من موجات وكل موجة ضوء لها طول موجة، وهو المسافة بين القمم. طول موجة الضوء تحدد من مدى صغر الشيء الذي يمكنك رؤيته، لأنك لا تستطيع تفكيك شيء أصغر من طول موجة الضوء التي تستخدمها لرؤيته. ومن ثم، لا يمكن للمرء أن يرصد وجود بعد إضافي أصغر من طول موجة الضوء التي يمكننا تمييزها.

قد يفكر المرء في أن أينشتاين، من بين كل الناس، كان ليقبل هذه النظرية الجديدة. لكن في ذلك الوقت (١٩١٤)، كان يرحل بالفعل في طريق آخر. في ما لا يشبه معاصريه، كان أينشتاين قد اتخذ طريقًا إلى توحيد الجاذبية بالنسبية مما أعاده لنفس أساس مبدأ النسبية: توحيد الحركة والسكون الذي اكتشفه جاليليو منذ عدة قرون مضت. يتضمن هذا التوحيد الحركة المنتظمة فقط – أي، حركة على خط مستقيم بسرعة ثابتة. في بداية نحو ١٩٠٧، كان أينشتاين قد بدأ يسأل نفسه عن الأنواع الأخرى من الحركة، مثل الحركة المتسارعة. هذه الحركة تتغير سرعتها واتجاهها. ألا يمكن بطريقة ما إزالة التمييز بين الحركة المتسارعة والحركة غير المتسارعة؟

بدى هذا في البداية خطوة خاطئة، حيث بينما لا يمكننا الشعور بتأثيرات الحركة المنتظمة، فإننا نشعر بالتأكيد بتأثيرات التسارع. عندما تقلع طائرة، نشعر بأننا مدفوعون إلى الخلف في مقاعدنا. وعندما يبدأ مصعد في الصعود، نشعر بالتسارع على هيئة ضغط إضافي يدفعنا إلى الأرضية.

وكان أن حصل أينتشاين عند هذه الفكرة على تبصره الأكثر روعة. أدرك أن تأثيرات التسارع لا يمكن التمييز بينها وبين تأثيرات الجاذبية. فكر في امرأة تقف في مصعد تنتظر أن يتحرك. إنها تشعر بالفعل بقوة تسحبها إلى الأرضية. ما الذي يحدث عندما يبدأ المصعد في الارتفاع ليس باختلاف في نوع الحركة ولكن في درجتها: إنها تشعر بنفس القوة تزداد. افترض أن المصعد كان ساكنًا لكن قوة الجاذبية تزداد من لحظة إلى أخرى. أدرك أينشتاين أنها ستشعر بالضبط بنفس الشعور كما لو أن المصعد قد تسارع إلى أعلى.

هناك تناقض في هذا. افترض أن الكبل الذي يمسك بالمصعد تم قطعه وأن المركبة، بمن هم في داخلها، بدأت تسقط. في السقوط الحر، سوف يشعر ركاب المصعد بانعدام الوزن. سوف يشعرون بالضبط كما يشعر رائد الفضاء في المدار. أي إن تسارع المصعد الساقط يمكن أن يلغي تمامًا تأثيرات الجاذبية.

استدعى أينشتاين الإدراك بأن الشخص الساقط من سقف مبنى لا يشعر بأية تأثيرات للجاذبية وهو يسقط. ووصف ذلك بأنه "الفكرة الأكثر حسن حظ في حياتي"، ووضعها في مبدأ، أطلق عليه مبدأ التكافؤ. يقول هذا المبدأ إن تأثيرات التسارع لا يمكن تمييزها عن تأثيرات الجاذبية[٢].

هكذا نجح أينشتاين في التوحيد بين كل أنواع الحركة. لا يمكن تمييز الحركة المنتظمة عن السكون. ولا يختلف التسارع عن البقاء في حالة سكون لكن مع مجال جاذبي بدأ يعمل.

كان توحيد التسارع والجاذبية توحيدا ذا توابع كبيرة. حتى قبل التحقق من التضمينات المفاهيمية، كانت هناك تضمينات ضخمة للتجربة. بل إن بعض التنبؤات يمكن استنتاجها بجبر المدرسة الثانوية – على سبيل المثال، أن الساعات ستتباطأ في أي مجال جاذبي، وهو ما تم إثباته أخيرًا. التنبؤ الآخر – الذي كان أول من قدمه أينشتاين في ١٩١١ – هو أن الضوء ينحني عندما يمر خلال مجال جاذبي.

لاحظ هنا أنه، كما في حالات التوحيد الناجحة التي تمت مناقشتها سابقًا، يحدث أكثر من توحيد واحد في الوقت نفسه. تم توحيد نوعين مختلفين من الحركة، ولم تعد هناك حاجة إلى التمييز بين الحركة المنتظمة والحركة المتسارعة. وتم التوحيد بين تأثيرات التسارع وتأثيرات الجاذبية.

حتى لو أن أينشتاين استطاع أن يتوصل من مبدأ التكافؤ إلى بضعة تنبؤات، فإن المبدأ الجديد لم يكن نظرية كاملة. كانت صياغة نظرية كاملة هو التحدي الأكبر في حياته واستغرق عقدًا تقريبًا لإنجازها. لمعرفة السبب، دعنا نحاول فهم معنى القول بأن الجاذبية تجعل أشعة الضوء تنحرف. قبل هذا التبصر الخاص لأينشتاين، كان هناك دائمًا نوعان مختلفان من الأشياء في العالم: الأشياء التي تعيش في المكان والمكان نفسه.

لسنا معتادين على التفكير في المكان باعتباره هوية لها خواصها الخاصة، لكنه هكذا بالتأكيد. للمكان ثلاثة أبعاد، وله أيضًا هندسة خاصة، وهي التي تعلمناها في المدرسة. وبتسميتها الهندسة الإقليدية – تبعًا لإقليدس، الذي أنجز مسلماتها وبديهياتها من أكثر من ألف سنة – هي دراسة خواص

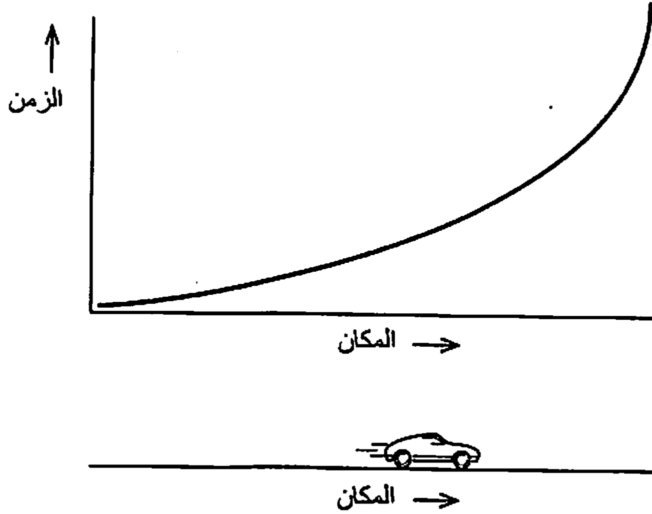
المكان نفسه. فرضيات الهندسة الإقليدية تخبرنا بما يحدث بالنسبة للمثلثات، والدوائر والخطوط التي تُرسم في المكان. لكنها تنطبق على كل الأمور، مادية كانت أو متخيلة.

إحدى نتائج نظرية ماكسويل عن الكهرومغناطيسية هي أن أشعة الضوء تتحرك في خطوط مستقيمة. بذلك من المفيد استخدام أشعة الضوء عند تحديد هندسة المكان. لكن لو تبنينا هذه الفكرة، نرى على الفور أن نظرية أينشتاين لها تضمينات كبيرة. لأن أشعة الضوء تنحني بواسطة مجالات الجاذبية، والتي، بدورها، تستجيب لوجود المادة. الاستنتاج الوحيد الذي يمكن الحصول عليه هو أن وجود المادة يؤثر على هندسة المكان.

في الهندسة الإقليدية، لو أن خطين مستقيمين كانا متوازنين من البداية، لا يمكن لهما الالتقاء أبدًا. لكن أشعة الضوء التي تكون متوازية في البداية يمكن أن تلتقي في العالم الحقيقي. ويضاف إلى ذلك، تتغير الهندسة باستمرار، لأن المادة تتحرك دائمًا. لا تشبه هندسة المكان مستوى مسطحا لا محدودا. وهي تشبه سطح محيط – ديناميكي بشكل لا يصدق، بأمواج ضخمة وترقرقات صغيرة فيه.

لذلك، تبين أن هندسة المكان هي مجرد مجال آخر. بالفعل، تعتبر هندسة المكان تقريبًا مثلها مثل المجال الجاذبي. لشرح السبب، علينا ذكر توحيد جزئي للمكان والزمان أنجزه أينشتاين في النسبية الخاصة. في هذا التوحيد، يصنع المكان والزمن معًا هوية ذات أربعة أبعاد تسمى الزمكان. ولها تشابه هندسي مع الهندسة الإقليدية، بالطريقة التالية الدقيقة.

افترض خطًا مستقيمًا في المكان. وهناك جسيمان يمكنهما الانتقال عبره، لكن أحدهما ينتقل بسرعة منتظمة، بينما يتسارع الآخر باستمرار. مادام يتعلق الأمر بالمكان، فإن الجسيمين ينتقلان على نفس المسار. لكنهما ينتقلان على مسارين مختلفين في الزمكان. الجسيم ذو السرعة الثابتة ينتقل على خط مستقيم، ليس فقط في المكان ولكن أيضًا في الزمكان. وينتقل الجسيم المتسارع على مسار منحني في الزمكان (انظر الشكل ٣).



الشكل ٣: سيارة تتسارع عبر خط مستقيم في المكان وتسير على مسار منحني في الزمكان.

من ثم، تمامًا مثل أن هندسة المكان يمكن أن تميز خطًا مستقيمًا عن مسار منحني، فإن هندسة الزمكان يمكنها التمييز بين جسيم يتحرك بسرعة ثابتة من آخر يتسارع.

لكن مبدأ التكافؤ لدى أينشتاين يخبرنا بأن تأثيرات الجاذبية لا يمكن تمييزها، عبر مسافات قصيرة، عن تأثيرات التسارع[٣]. لذلك، بإخبارنا بأي المسارات هي التي تتسارع وأيها لا يتسارع، تعتبر هندسة الزمكان من ثم مجالاً جاذبيًا.

هكذا أصبح التوحيد المزدوج الناتج عن مبدأ التكافؤ توحيدًا ثلاثيًا: كل الحركات تتكافأ بمجرد أخذ تأثيرات الجاذبية في الحسبان، وتكون الجاذبية غير قابلة لتمييزها عن التسارع، ويتوحد المجال الجاذبي مع هندسة المكان والزمن. عندما يتم إنجاز ذلك بالتفصيل، يصبح هو نظرية النسبية العامة لأينشتاين، التي نشرها بشكل كامل في ١٩١٥.

لم يكن ذلك سيئًا بالنسبة لشخص لم يستطع في البداية الحصول على وظيفة أكاديمية.

هكذا، في ١٩١٦ كان هناك اقتراحان مختلفان جدًا لمستقبل الفيزياء، كلاهما يقوم على فكرة عميقة حول توحيد الجاذبية مع بقية الفيزياء. كان هناك التوحيد الأنيق لنوردستروم بين الجاذبية والكهرومغناطيسية بفرضية بعد إضافي خفي للمكان. وكانت هناك النظرية النسبية العامة لأينشتاين. بدا كل منهما نظرية متسقة وكلاهما أنجز شيئًا أنيقًا بشكل غير متوقع.

لا يمكن أن يكون كلاهما صحيحًا، لذلك يجب أن يكون هناك اختيار بينهما. لحسن الحظ، قدمت النظريتان تنبؤات مختلفة لتجربة يمكن إجراؤها. تنبأت النظرية النسبية العامة لأينشتاين بأن على الجاذبية أن تجعل أشعة الضوء تنحرف – وبكمية دقيقة. في نظرية نوردستروم لم تكن هناك ظاهرة مماثلة: ينتقل الضوء دائمًا في فترة زمنية لخطوط مستقيمة.

في ١٩١٩، قاد عالم الفيزياء الفلكية البريطاني العظيم أرثر إدنجتون Arthur Eddington بعثة إلى الشاطئ الغربي لإفريقيا لإجراء تجربة، انتهت بإثبات أن المجال الجاذبي للشمس يحني الضوء بالفعل. تم رصد هذه الظاهرة خلال كسوف شمسي كلي، سمح برؤية، بالقرب من حافة الشمس المختفية، الضوء القادم من النجوم التي كانت بالفعل خلف الشمس مباشرة. لو لم تحن جاذبية الشمس أضواءها، لما كان من الممكن رؤية هذه النجوم. لكنها كانت مرئية. لذلك فإن الاختيار بين الاتجاهين المختلفين بشدة للتوحيد تم بالطريقة الوحيدة التي كان من الممكن أن يتم بها – بالتجربة.

هذا مثال مهم، لأنه يوضح حدود ما يمكن إنجازه بالتفكير وحده. كان بعض علماء الفيزياء يرون أن النسبية العامة هي حالة يكفي خلالها التفكير البحت بتوضيح طريق التقدم. لكن القصة الحقيقة هي العكس. بدون التجربة، ربما كان أغلب علماء النظرية يختارون توحيد نوردستروم، فهو أكثر بساطة ويأتي معه بالفكرة الجديدة القوية للتوحيد من خلال أبعاد إضافية.

توحيد أينشتاين للمجال الجاذبي وهندسة الزمكان أشار إلى تحول عميق في إدراكنا للطبيعة. قبل أينشتاين، كان يُظن أن المكان والزمن لهما خواص ثابتة خلال كل الأبدية: هندسة المكان تعتبر، وكانت تعتبر، دائمًا كما وصفها إقليدس. يمر الزمن مستقلاً عن أي شيء آخر. تتحرك الأشياء في المكان وتتطور عبر الزمن، لكن المكان والزمن في حد ذاتهما لا يتغيران أبدًا.

بالنسبة لنيوتن، كان المكان والزمان يؤلفان خلفية مطلقة. وأتاحا مسرحًا ثابتًا تم تمثيل دراما عظيمة عليه. كانت هندسة المكان والزمان مطلوبة لإعطاء معنى للأشياء التي تتغير، مثل مواقع وحركات الجسيمات. لكنهما في حد ذاتهما لا يتغيران. ولدينا اسم لنظريات الفيزياء التي تعتمد على مثل هذا الإطار المطلق الثابت: نطلق عليها نظريات الاعتماد على الخلفية.

النظرية النسبية العامة لأينشتاين مختلفة تمامًا. ليس لها خلفية ثابتة. وهندسة المكان والزمن تتغير وتتطور، كما هو حال كل شيء آخر في الطبيعة. وتصف هندسات الزمكان المختلفة أحوال تاريخ الأكوان المختلفة. لم يعد لدينا مجالات تتحرك في هندسة ذات خلفية ثابتة. ولدينا مجموعة من

المجالات تتفاعل كلها مع بعضها البعض، وكلها ديناميكية، وكلها تؤثر على بعضها البعض، وواحد منها هو هندسة الزمكان. ونطلق على مثل هذه النظرية نظرية مستقلة عن الخلفية.

خذ ملحوظة عن التمييز بين النظريات المعتمدة على الخلفية وتلك المستقلة عنها. القصة التي تتضح خلال مسار هذا الكتاب تدور حول الاختلاف بينها.

حققت نظرية النسبية العامة لأينشتاين كل الاختبارات التي ذكرناها في الفصل السابق للتوحيد الناجح. كانت هناك نتائج مفاهيمية عميقة، والتي كانت متضمنة في التوحيد المعني. أدى ذلك بسرعة إلى تنبؤات عن ظواهر جديدة، مثل تمدد الكون، والانفجار الكبير، وموجات الجاذبية، والثقوب السوداء، وهناك أدلة جيدة على كل ذلك. مفهومنا الكامل عن علم الكون حدث فيه انقلاب رأسًا على عقب. والاقتراحات التي بدت جذرية ذات مرة، مثل انحناء الضوء بواسطة المادة، يتم استخدامها حاليًا كأداة لتتبع توزيع المادة في الكون.

وفي كل مرة يتم خلالها اختبار تنبؤات النظرية بالتفصيل، تثبت صحتها بشكل جميل(٤).

لكن النسبية العامة كانت مجرد بداية. حتى قبل نشر أينشتاين للنسخة النهائية للنظرية، كان هو وآخرون يصيغون أنواعًا مختلفة من النظريات الموحدة. كان لديهم بشكل مشترك فكرة بسيطة: لو أنه كان من الممكن فهم القوة الجاذبية باعتبارها مظهرًا لهندسة المكان، لماذا لا يكون ذلك صحيحًا أيضًا بالنسبة للكهرومغناطيسية؟ في ١٩١٥، كان أينشتاين قد كتب لدافيد

هيلبرت david Hilbert، ربما كان أعظم عالم رياضيات حي عندئذ، "لقد عذبت عقلي غالبًا لكي أعبر الفجوة بين الجاذبية والكهرومغناطيسية"(٥).

لكن استمر ذلك حتى ١٩١٨ لكي تظهر فكرة جيدة بالفعل حول هذا التوحيد الخاص. واحتوت هذه النظرية، التي ابتكرها عالم الرياضيات هرمان ويل Herman Weyl، على فكرة رياضية جميلة ستصبح قلب النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات. ومع ذلك فشلت، لأن النسخة الأصلية لويل كان لها عواقب كبيرة لا تتفق مع التجربة. إحدى هذه العواقب أن طول أي شيء يعتمد على المسار الذي يتخذه. لو كان لديك عصاتي قياس، افصل بينهما، ثم أحضرهما معًا وقارنهما، سيكونان بشكل عام مختلفين في الطول. هذا أكثر جذرية من النسبية الخاصة، وهو ما يفترض أن عصاتي القياس يمكن أن تظهرا بالفعل بطولين مختلفين، ولكن فقط عندما يكونان في حالة حركة بالنسبة لبعضهما البعض، وليس عندما تتم مقارنتاهما وهما في حالة سكون. وهي لا تتفق أيضًا، بالطبع، مع خبرتنا مع الطبيعة.

لم يصدق أينشتاين نظرية ويل، لكنه كان معجبًا بها، وكتب إلى ويل، "باستثناء [نقص] الاتفاق مع الواقع فهي على أي حال إنجاز عقلي ممتاز"(٦). وتوضح إجابة ويل قوة الجمال الرياضي: "رفضك للنظرية بالنسبة لي عظيم الشأن،.... لكن مخي لا يزال يحتفظ بالإيمان بها"(٧).

التوتر بين أولئك الذين أثارهم إغراء نظرية جميلة ابتكروها وأصرت العقول الأكثر وقارًا على علاقة لها بالواقع لهو قصة سنراها تتكرر في

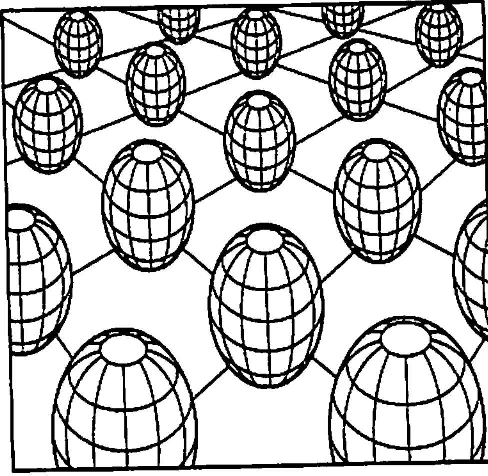
المحاولات اللاحقة للتوحيد. ليس هناك حل سهل في هذه الحالات، لأنه يمكن لأية نظرية أن تكون جميلة بشكل مفرط، ومثمرة لتطور العلم، ومع ذلك تكون مخطئة تمامًا في نفس الوقت.

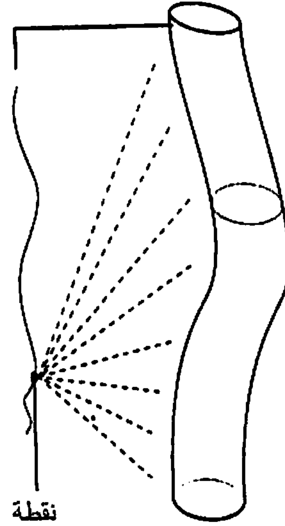
لكن رغم فشل أول محاولة توحيد لويل، ابتكر مفهومًا حديثًا للتوحيد أدى في النهاية إلى نظرية الأوتار. كان هو أول، وبعيد عن أن يكون الأخير، من قال، "لديّ الشجاعة الكافية للإيمان بأن كل الظواهر الفيزيائية يمكن استنتاجها من قانون واحد شامل يتصف بأعظم بساطة رياضية"(٨).

بعد عام من نظرية ويل، توصل عالم فيزياء ألماني اسمه تيودور كالوزا Theodor Kaluza إلى طريقة مختلفة لتوحيد الجاذبية مع الكهرومغناطيسية، بإحياء فكرة نوردستروم عن الحد الخفي. لكنه فعل ذلك بتحريف. وجد نوردستروم الجاذبية بتطبيق نظرية ماكسويل عن الكهرومغناطيسية على عالم ذي خمسة أبعاد (أربعة أبعاد منها مكانية وواحد هو الزمن). فعل كالوزا ذلك بالعكس: طبق نظرية النسبية العامة لأينشتاين على عالم ذي أبعاد خمسة وتوصل إلى الكهرومغناطيسية.

يمكنك تصور هذا المكان الجديد بوصل دائرة صغيرة بكل نقطة من المكان العادي ذي الأبعاد الثلاثة (انظر الشكل ٤). يمكن لهذه الهندسة الجديدة أن تنحني بطرق جديدة، لأن الدوائر الصغيرة يمكن وصلها بأشكال مختلفة بالنقاط المختلفة. هناك من ثم شيء جديد لقياسه عند كل نقطة من المكان الأصلي ذي الأبعاد الثلاثة. يتضح أن هذه المعلومات تشبه فقط المجالين الكهربائي والمغناطيسي.

الاشتقاق الآخر المدهش هو أنه يتضح أن شحنة الإلكترون ترتبط بنصف قطر الدائرة الصغيرة. لا يجب أن يثير ذلك الدهشة: لو أن مجال الإلكترون هو مجرد مظهر للهندسة، فإن الشحنة الكهربائية يجب أن تكون كذلك أيضًا.





الشكل ٤. تتكور الأبعاد الإضافية التي استخدمتها نظرية كالوزا-كلين. على اليسار كرة موضوعة على كل نقطة عادية في المكان ثلاثي الأبعاد، مما يصنع مكانًا ذا أبعاد خمسة. على اليمين: دائرة صغيرة موضوعة على مكان في البعد الواحد. من بعيد، يشبه المكان ذا البعد الواحد، لكن لو تم فحصه عن قرب تتم رؤيته في البعدين.

لا يقتصر الأمر على ذلك. تصف النسبية العامة ديناميكا هندسة الزمكان بالنسبة لمعادلات معينة، يطلق عليها معادلات أينشتاين. لا أحتاج إلى كتابتها لوصف الحقيقة المهمة: نفس هذه المعادلات يمكن تطبيقها على عالم ذي أبعاد خمسة الذي وصفناه على التو. ما دمنا نستغل شرطًا واحدًا بسيطًا، يتضح أنها المعادلات الصحيحة لوصف المجالين الكهربائي والمغناطيسي والجاذبية، متحدة معًا. وهكذا، لو أن النظرية صحيحة، يكون المجال الكهرومغناطيسي مجرد اسم آخر لهندسة الأبعاد الخمسة.

تمت إعادة اكتشاف فكرة كالوزا وتطويرها أكثر في العشرينيات بواسطة عالم الفيزياء السويدي أوسكار كلين Oskar Klein. كانت نظريتهما جميلة وذات قوة لا تقاوم حقًا. تم توحيد الجاذبية والكهرومغناطيسية في ضربة واحدة، وتم تفسير معادلات ماكسويل بأنها تأتي من معادلات أينشتاين، كل ذلك بعمل واحد هو إضافة بعد واحد للمكان.

هذه المرة كان أينشتاين مفتونًا. في إبريل ١٩١٩ كتب إلى كالوزا، "فكرة إنجاز [نظرية موحدة] بأسطوانة ذات أبعاد خمسة لم تأت لي أبدًا.. للوهلة الأولى أحب فكرتك إلى حد كبير"[٩]. في خطاب بعد عدة سنوات لعالم الفيزياء الألماني هندريك لورنتز Hendrik Lorentz، قال مبتهجًا، "يتضح أن توحيد الجاذبية ونظرية ماكسويل تم إنجازه بطريقة مقبولة تمامًا بواسطة نظرية الأبعاد الخمسة"[١٠]. يتذكر جورج أولنبيك George Uhlenbeck، عالم الفيزياء البارز، أول مرة يسمع فيها عن فكرة كلين في ١٩٢٦: "شعرت بنوع من السعادة الغامرة! الآن يفهم المرء العالم"[١١].

. لسوء الحظ، كان أينشتاين والأنصار الآخرون على خطأ. مثل نظرية نوردستروم، فشلت فكرة التوحيد بإضافة بعد خفي. ومن المهم فهم السبب.

قلت سابقًا إنه لكي ينجح توحيد مقترح، عليه أن يحرز مكانته بتقديم تنبؤات جديدة يتم إثباتها بواسطة التجربة. ينتج عن حالات التوحيد الناجحة أيضًا فرط من التبصرات الجديدة التي تؤدي إلى المزيد من الاكتشافات. ومع كل هذه الفتنة للبعض، لم يحدث أي شيء من ذلك في حالة نظرية كالوزا-كلين. السبب بسيط: تفرض النظرية بعدًا إضافيًا، الذي أشرنا إليه سابقًا، ويتضمن أن البعد الإضافي متكور في دائرة نصف قطرها بالغ الصغر بحيث لا يمكن رؤيته. ليس هذا فقط: لاستخراج الكهرومغناطيسية من النظرية، يجب أن يتجمد نصف قطر الدائرة، ولا يتغير في المكان ولا الزمن.

ذلك هو كعب أخيل في مجمل المشروع وقاد مباشرة إلى فشله. السبب أن تجميد نصف قطر البعد الإضافي يقوض نفس جوهر نظرية النسبية العامة لأينشتاين، وهو أن الهندسة ديناميكية. لو أننا أضفنا بعدًا آخر للزمكان كما تصفه النسبية العامة، يجب أن تكون هندسة هذا البعد الإضافي ديناميكية أيضًا. وبالفعل، ستكون كذلك لو سُمح لنصف قطر الدائرة الصغيرة أن يتحرك بحرية. سيكون لنظرية كالوزا وكلين عندئذ الكثير من الحلول اللانهائية، حيث يتغير نصف قطر الدائرة من خلال المكان ويتغير مع الزمن. سيكون لذلك تضمينات مدهشة، لأنه قد يؤدي إلى عمليات تتحول خلالها الظواهر الجاذبة والكهربائية إلى بعضها البعض. وسيؤدي ذلك أيضًا إلى عمليات تتغير خلالها الشحنات الكهربائية مع الزمن.

لكن لو أن نظرية كالوزا – كلين توحيد حقيقي، لا يمكن معالجة البعد الخامس بشكل مختلف عن الأبعاد الأخرى: يجب السماح للدائرة الصغيرة بالتغير. ومن ثم تكون العمليات الناتجة هي العواقب الضرورية لتوحيد الكهرباء والهندسة. ولو تم رصدها في أي وقت، ستثبت بشكل مباشر أن الهندسة، والجاذبية، والكهرباء والمغناطيسية كلها جوانب لظاهرة واحدة. لسوء الحظ، لم يتم رصد مثل هذه الظواهر أبدًا.

ليست هذه إحدى الحالات التي يمكن خلالها لعلماء النظريات أن يعلنوا بسرعة نتائج التوحيد، وبدلاً عن ذلك عليهم إخفاؤها، بالإصرار على دراسة جزء بالغ الضآلة فقط من الحلول حيث يكون نصف قطر البعد الخامس مجمدا في المكان والزمن.

ويصبح الأمر أسوأ، لأن مثل هذه الحلول، كما يتضح، غير مستقرة. إذا داعبت الهندسة قليلاً فحسب، تنهار الدائرة الصغيرة بسرعة إلى مفردة تمثل نهاية الزمن. داعبها بشكل مختلف فتنمو الدائرة بحيث يصبح البعد الإضافي بعد قليل مرئيًا، مشككًا في مجمل النظرية. نتيجة لذلك، يجب إخفاء تنبؤات النظرية للتغطية على حقيقة أنها تصبح أكثر خطأ بكثير.

عند هذه النقطة، حتى أينشتاين يفقد حماسه. كتب إلى صديقه بول إهرنفيست Paul Ehrenfest، "إنه لأمر شاذ استبدال امتداد الأبعاد الأربعة بامتداد الأبعاد الخمسة، ومن ثم الربط المصطنع لامتداد من هذه الأبعاد الخمسة لتفسير حقيقة أنه لا يُظهر نفسه"(١٢).

وكما لو كان ذلك غير كاف، كان لدى علماء الفيزياء أسباب أخرى لرفض النظرية. في الثلاثينيات، عرف الناس أنه كان هناك المزيد من القوى في العالم أكثر من الجاذبية والكهرومغناطيسية. عرفوا بالقوتين النوويتين الشديدة والضعيفة، لذلك صار لا معنى لتركهما خارج التوحيد. لكن أحدًا لم يعرف كيف يمكن احتواؤهما في النظريات الموحدة هذه. وبرغم ذلك، استمرت الأبحاث لفترة حول نظرية المجال الموحد، والتي قادها أينشتاين. وشارك في هذا المجهود بعض من علماء الرياضيات والفيزياء العظام في ذلك الوقت، بمن فيهم وولفجانج باولي Wolfgang Pauli، وإروين شرودنجر، وويل. وجدوا طرقًا أخرى لتعديل هندسة الزمكان لتوحيد الجاذبية مع الكهرومغناطيسية. اعتمد ذلك على تبصرات رياضية عميقة، لكنها لم تؤد، هي أيضًا، إلى أي مكان، ولم تقدم تنبؤات جديدة أو تنبأت بظواهر لم تتم رؤيتها. في الأربعينيات، كانت السخرية تواجه غالبًا أينشتاين وقلة أخرى كانوا لا يزالون يتابعون نظرية المجال الموحد.

أول عمل لي بعد حصولي على درجة دكتوراه الفلسفة كان في معهد الدراسات المتقدمة في برينستون. وكان أحد أسبابي الرئيسية للحصول عليه هو أمل الاتصال ببعض من التراث الحي لأينشتاين، الذي كان قد توفى منذ أربع وعشرين سنة. وخاب رجائي في ذلك. لم يكن هناك أي أثر لزمنه، باستثناء تمثال نصفي له في المكتبة. ولم يكن من الممكن العثور على أي طالب لأينشتاين أو معجب به. فقط بضعة أشخاص كانوا قد عرفوه، مثل عالم الفيزياء النظرية فريمان دايسون، الذي كان لا يزال هناك.

في أول أسبوع لي هناك، جاء دايسون، شخصًا نبيلاً إلى حد كبير، ودعاني إلى وجبة غداء. بعد الاستفسار عن عملي، سألني إذا ما كان هناك ما يمكنه أن يفعله ليجعلني أشعر بأنني في بيتي في برينستون. لم يكن لي سوى طلب واحد. "هل يمكنك أن تخبرني ماذا كان عليه أينشتاين بالفعل؟". سألت. وأجاب دايسون، "أنا آسف جدًا، لكن هذا أمر لا يمكنني مساعدتك فيه". مع دهشتي، كان إلحاحي، "لكنك جئت هنا في ١٩٤٧ وكنت زميلاً له حتى وفاته في ١٩٥٥".

أوضح دايسون أنه قد جاء هو أيضًا إلى المعهد على أمل أن يتعرف إلى أينشتاين. لذلك ذهب إلى سكرتيرة أينشتاين، هيلين دوكاس Helen Dukas، للحصول على موعد. قبل الموعد بيوم، أصابه القلق حول عدم وجود أي شيء خاص لديه ليناقشه مع الرجل العظيم، لذلك حصل من السيدة دوكاس على نسخ لأبحاث أينشتاين العلمية الحديثة. كانت كلها حول جهود أينشتاين لإنشاء نظرية مجال موحد. بعد أن قرأها في تلك الأمسية، قرر دايسون أنها تافهة.

في الصباح التالي، أدرك أنه رغم عدم قدرته على مواجهة أينشتاين وإخباره بأن عمله تافه، لم يستطع أيضًا أن يخبره بذلك. لذلك تجاهل الموعد و، كما أخبرني، قضى السنوات الثمانية التالية قبل وفاة أينشتاين متجنبًا إياه.

لم أستطع سوى أن أقول بوضوح، "ألا تظن أن أينشتاين كان في استطاعته الدفاع عن نفسه وتفسير دوافعه لك؟".

"بالتأكيد"، أجاب دايسون. "لكنني كنت قد أصبحت متقدمًا في العمر قبل توصلي إلى هذه الفكرة".

إحدى المشاكل التي كان يواجهها أينشتاين والقلة من علماء النظريات الذين عملوا على نظرية المجال الموحد (بجانب سخرية علماء فيزياء الجسيمات) كانت أن هذا النوع من التوحيد اتضح أنه بالغ السهولة. أكثر من كونه من الصعب الحصول عليها، كانت نظريات المجال الموحد متوافرة برخص التراب. كان هناك الكثير من الطرق المختلفة لإنجازها ولم يكن هناك سبب لتفضيل واحدة عن الأخرى. بعد عقود من العمل، لم يكن هناك سوى تقدم حقيقي واحد: تم حل مشكلة دمج القوتين النوويتين. اتضح أن كل ما كان مطلوبًا هو إضافة أبعاد إضافية رغم ذلك. وظهرت المجالات الضرورية لوصف القوتين النوويتين الشديدة والضعيفة عند إضافة العديد من الأبعاد الجديدة الإضافية إلى النسبية العامة. والقصة هي نفسها إلى حد كبير في محاولة كالوزا مع الكهرومغناطيسية: كان على المرء تجميد هندسة الأبعاد الإضافية، للتأكد من أن هندستها لن تتغير أبدًا مع الزمن أو في المكان، ووجيب جعلها بالغة الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها. عندما يتم عمل كل ذلك على الوجه الصحيح، تنتج المعادلات الضرورية (المعروفة باسم معادلات يانج-ميلز) من تطبيق معادلات النسبية العامة على الأبعاد العليا.

حقيقة أن معادلات يانج-ميلز كانت مختبئة في التوسعات البعدية الأعلى للنسبية العامة لم يتم اكتشافها حتى الخمسينيات، لكن لم يتم إدراك أهميتها حتى السبعينيات عندما فهمنا في النهاية أن هذه المعادلات تصف القوتين النوويتين الضعيفة والشديدة. عندما توصل الناس في النهاية إلى هذا الارتباط، كانت هناك بضع محاولات لإحياء فكرة كالوزا-كلين، لكنها لم

تذهب بعيدًا. في ذلك الوقت، كنا قد تعلمنا أن الطبيعة ينقصها تماثل معين – ذلك الخاص بالتساوي بين اليسار واليمين. بشكل خاص، كل جسيمات النيوترينو هي ما يشار إليه باعتبارها يسارية الاتجاه (أي، اتجاه لفها يكون دائمًا عكس لف كمية حركتها الخطية). هذا يعني أنك لو نظرت إلى العالم في مرآة، سوف ترى العالم الزائف – ذلك الذي تكون فيه جسيمات النيوترينو ذات اتجاه يميني. لذلك فإن العالم الذي تتم رؤيته في المرآة ليس هو العالم الممكن. لكن عدم التماثل هذا اتضح أنه من الصعب تفسيره في العالم الذي تصفه نظرية كالوزا–كلين.

فوق ذلك، أن نظريات الحدود الأعلى كفت عن تقديم تنبؤات جديدة. الشروط التي علينا فرضها على الأبعاد الإضافية لكي نحصل على الفيزياء التي نريدها كانت بذور النظرية للدمار. بالفعل، كلما أدرجت المزيد من الأبعاد، ارتفع الثمن الذي تدفعه من أجل تجميد هندستها. كلما زاد عدد الأبعاد، زادت درجات الحرية – ويتفق المزيد من الحرية مع هندسة الأبعاد الإضافية للارتحال بعيدًا عن الهندسة الصلبة الضرورية لإنتاج القوى المعروفة في عالمنا ذي الأبعاد الثلاثة. وتصبح مشكلة عدم التوازن أسوأ فأسوأ.

يضاف إلى ذلك، أينما يكون هناك أكثر من بعد واحد خفي، تكون هناك طرق كثيرة مختلفة لجعلها تتكور، لذلك يكون هناك عدد لانهائي من النسخ الممكنة للنظرية. كيف يمكن للطبيعة أن تختار من بينها؟

مرارًا وتكرارًا من جديد في المحاولات المبكرة لتوحيد الفيزياء من خلال الأبعاد الإضافية، نواجه نفس القصة. هناك القليل من الحلول التي تؤدي إلى العالم الذي نلاحظه، لكنها جزر غير مستقرة في المشهد الهائل للحلول الممكنة، وبقيتها لا تشبه إلى حد كبير عالمنا. وبمجرد فرض الشروط لحذفها، لا يكون هناك دليل قاطع – لا نتيجة للتوحيد الذي لا يكون قد تمت رؤيته لكن من الواجب رؤيته، لو كان على علماء التجارب البحث عنه. لذلك لا يكون هناك ما يتم الإعلان عنه ويكون هناك الكثير لإخفائه.

لكن كان هناك حتى المزيد من المشاكل الأساسية، التي لها ارتباط بالعلاقة بين نظريات التوحيد والنظرية الكمية. تمت المحاولات المبكرة لنظريات توحيد المجال قبل الصياغة الكاملة لميكانيكا الكم، في ١٩٢٦. بالفعل، كان لدى قلة من أنصار نظرية الكم تأملات مثيرة للاهتمام حول العلاقة بين الأبعاد الإضافية ونظرية الكم. لكن بعد ١٩٣٠ أو نحو ذلك، كان هناك صدع. تجاهل أغلب علماء الفيزياء مشكلة التوحيد وركزوا على تطبيق نظرية الكم على عدد هائل من الظواهر، من خواص المواد إلى العمليات التي تنتج النجوم الطاقة من خلالها. في نفس الوقت، تلك القلة التي ثابرت على العمل في مجال نظريات التوحيد تجاهلت بشكل متزايد نظرية الكم. هؤلاء الأشخاص (بمن فيهم أينشتاين) عملوا كما لو أن بلانك، وبور، وهيزنبرج وشرودنجر لم يوجدوا قط. كانوا يعيشون بعد ثورة ميكانيكا الكم لكنهم تظاهروا بالعمل في كون فكري حيث لم تحدث هذه الثورة أبدًا. بدوا بالنسبة لمعاصريهم مثل الجماعات غريبة الأطوار للأرستقراطيين الروس

المهاجرين الذين كانوا، في العشرينيات والثلاثينيات، يقيمون مراسمهم الاجتماعية المسهبة في باريس ونيويورك، كما لو أنهم عادوا إلى سان بطرسبورج القيصرية.

بالطبع، لم يكن أينشتاين مجرد مفكر مهاجر قادم من عالم مفقود (حتى لو كان مفكرًا مهاجرًا من عالم مفقود). عرف جيدًا بشكل كامل أنه كان يتجاهل نظرية الكم، لكن كان لديه سبب: لم يكن يؤمن بها. حتى رغم أنه كان قد بعث الحركة في الثورة الكمية بإدراكه أن الفوتون كان حقيقيًا، فإنه رفض النتيجة. كان لديه أمل في اكتشاف النظرية الأعمق للظواهر الكمية التي ستكون مقبولة لديه. هذا ما كان يأمل بالضبط أن تقوده إليه نظريته عن المجال الموحد.

لكنها لم تفعل ذلك. فشل حلم أينشتاين بمناورة تجنب عوائق حول نظرية الكم، ولقد مات معه هذا الحلم تقريبًا. في ذلك الوقت، كانت قلة تحترمه وأقل منها تبعته. ظن علماء الفيزياء في ذلك الوقت أن لديهم ما يفعلونه أفضل من اللعب بالأفكار الخيالية حول التوحيد. كانوا يعملون بجهد لتصنيف الكثير من الجسيمات الجديدة التي تم اكتشافها ويشتاقون إلى نظريات للقوتين الأساسيتين اللتين تم اكتشافهما حديثًا. أن يتأمل شخص في أن للعالم أكثر من ثلاثة أبعاد للمكان، تتكور بالغة الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها، بدا لهم أمرًا بجنون وعقم دراسة الأطباق الطائرة. لم تكن هناك تضمينات للتجربة، ولا تنبؤات جديدة، لذلك، في فترة زمنية كان تطور النظرية في توافق مع التجربة، لم يكن هناك ما يدفع للاهتمام.

لكن افترض للحظة أنه رغم كل العقبات، لازلنا في حاجة لأخذ أفكار المجال الموحد مأخذًا جادًا. هل يمكن صياغة هذه النظريات بلغة نظرية الكم؟ كانت الإجابة مدوية بلا. لم يكن أحد يعرف في ذلك الوقت كيف يمكن حتى جعل النظرية النسبية متسقة مع نظرية الكم. كل المحاولات السابقة لعمل ذلك فشلت. عندما كنت تضيف المزيد من الأبعاد، أو المزيد من الالتواءات للهندسة، تصبح الأمور دائمًا أسوأ، وليس أفضل. كلما كان عدد الأبعاد أكبر، خرجت المعادلات عن التحكم بشكل أسرع، مرتفعة إلى كميات لانهائية وتناقضات.

لذلك، بينما كانت فكرة التوحيد باللجوء إلى أبعاد أعلى ذات جاذبية شديدة، تم التخلي عنها، ولأسباب جيدة. فهي لم تقدم تنبؤات قابلة للاختبار. حتى لو نتج عن مثل هذه النظرية حلولاً خاصة تصف العالم، كان هناك، كما تمت ملاحظته، الكثير منها لا يفعل ذلك. والقلة التي كانت تفعل ذلك كانت غير متزنة ويمكن أن تتطور إلى مفردات بسهولة، أو إلى عوالم لا تشبه بالمرة عالمنا. وأخيرًا، لم يكن من الممكن جعلها متسقة مع نظرية الكم. فكر في هذه الأسباب– لأن النجاح أو الفشل، من جديد، للاقتراحات الأكثر حداثة للتوحيد، مثل نظرية الأوتار، تعتمد على ما إذا كان يمكنها حل هذه المشاكل نفسها.

مع الوقت الذي بدأت خلاله دراستي للفيزياء في أوائل السبعينيات، كانت فكرة توحيد الجاذبية مع القوى الأخرى ميتة مثلها مثل فكرة المادة المتصلة. كانت درسًا في بلاهة مفكرين كانوا عظماء في وقت ما. لم يعتقد أرنست ماخ Ernst Mach في الذرات، وكان جيمس كلارك ماكسويل يؤمن بالأثير، وبحث ألبرت أينشتاين عن نظرية المجال الموحد. الحياة وعرة.

٤

التوحيد يصبح علماً

بعد فشل فكرة توحيد كل القوى الأساسية الأربع بابتكار أبعاد جديدة، كف أغلب علماء الفيزياء النظرية عن فكرة الربط بين الجانبية والقوى الأخرى، وهو قرار له أهميته لأن الجانبية أضعف بكثير من القوى الأخرى. وبدلاً عن ذلك انجذب اهتمامهم إلى حديقة الجسيمات الأولية التي كان يكتشفها علماء التجارب في مسارعاتهم للجسيمات. بحثوا عن بيانات لمبادئ جديدة يمكنها على الأقل توحيد كل الأنواع المختلفة من الجسيمات.

تجاهل الجانبية كان يعني اتخاذ خطوة إلى الخلف، لفهم المكان والزمن قبل نظرية النسبية العامة لأينشتاين. كان ذلك أمرا من الخطير تنفيذه على المدى البعيد، لأنه كان يعني العمل بأفكار كان قد تم بالفعل تنحيتها جانبًا. لكن كانت هناك ميزة أيضًا، في أن هذه المقاربة أدت إلى تبسيط كبير للمشكلة. الدرس الأساسي للنسبية العامة كان عدم وجود هندسة خلفية ثابتة للمكان والزمن، وتجاهل هذا الأمر كان يعني أنك يمكنك ببساطة اختيار الخلفية. أعادنا ذلك إلى وجهة نظر نيوتن، حيث الجسيمات والمجالات تسكن في خلفية ثابتة للمكان والزمن – خلفية خواصها ثابتة إلى الأبد. وبذلك، فإن النظريات التي تطورت من تجاهل الجانبية تعتبر نظريات تعتمد على الخلفية.

ومع ذلك، لم يكن من الضروري كل هذه العودة إلى نيوتن. يمكننا العمل داخل وصف المكان والزمن الذي نحصل عليه من نظرية النسبية الخاصة ١٩٠٥ لأينشتاين. مع ذلك، فإنه تبعًا لهذا الوصف، فإنه في هندسة المكان التي يقدمها إقليدس، والتي يدرسها أغلبنا في المدرسة الإعدادية، يكون المكان مختلطا بالزمن، لكي تتكيف مع فرضيتي أينشتاين، نسبية الراصدين وثبات سرعة الضوء. لا يمكن للنظرية أن تتلاءم مع الجاذبية، لكنها الموقع الصحيح لنظرية ماكسويل للمجالين الكهربائي والمغناطيسي.

بمجرد أن تم صياغة ميكانيكا الكم بشكل كامل، حول علماء الكم النظريون انتباههم إلى توحيد الكهرومغناطيسية مع نظرية الكم. حيث إن الظواهر الأساسية للكهرومغناطيسية هي المجالات، فإن التوحيد الذي قد ينتج في النهاية يسمى نظرية المجال الكمي. ولأن نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين هي الوضع الصحيح للكهرومغناطيسية، يمكن اعتبار هذه النظريات أيضًا حالات توحيد لنظرية الكم مع النسبية الخاصة.

كانت تلك مشكلة أكثر تحديا بكثير من تطبيق نظرية الكم على الجسيمات، لأن للمجال قيمة عند كل نقطة من المكان. لو اعتبرنا هذا المكان متصلا – وهو ما تؤكد عليه النسبية الخاصة – عندئذ هناك ما لا نهاية له من المتغيرات المتصلة. في نظرية الكم، كل متغير يتعرض لمبدأ عدم يقين. وأحد التضمينات هو أنك كلما حاولت قياس متغير بشكل أكثر دقة، ازداد اضطرابه الذي لا يمكن التحكم فيه. اضطراب عدد لانهائي من المتغيرات بشكل لا يمكن التحكم فيه قد يخرج عن السيطرة. عندما تطرح أسئلة على

النظرية، عليك أن تكون بالغ الانتباه حتى لا يكون لديك إجابات لانهائية غير متسقة.

عرف علماء النظرية الكمية بالفعل أنه بالنسبة لكل موجة كهرومغناطيسية هناك جسم كمي، فوتون. واستغرق الأمر فقط بضع سنوات للتحقق من ذلك بالتفصيل، لكن النتيجة كانت فحسب نظرية للفوتونات التي تتحرك بحرية، وقد تكون الخطوة التالية دمج الجسيمات المشحونة، مثل الإلكترونات والبروتونات، ووصف كيفية تفاعلها مع الفوتونات. كان الهدف نظرية ديناميكية كهربائية متسقة تمامًا، أو QED. وكانت نظرية أكثر تحديًا بكثير. تم حل QED لأول مرة بواسطة عالم الفيزياء الياباني سين-إتيرو توموناجا Sin-Itiro Tomonaga خلال الحرب العالمية الثانية، لكن الأنباء لم تصل إلى بقية العالم حتى ١٩٤٨ أو نحو ذلك. في ذلك الوقت، كان قد تم صياغة QED مرتين إضافيتين، بشكل مستقل، بواسطة الشابين الأمريكيين ريتشارد فينمان وجوليان شوينجر Julian Schwinger.

بمجرد أن تم فهم QED، كانت المهمة مد نظرية المجال الكمي إلى القوتين النوويتين الشديدة والضعيفة. استغرق ذلك ربع قرن آخر، وكان الحل في اكتشاف جسيمين جديدين: يحدد الأول المشترك لدى الكهرومغناطيسية وهذين التفاعلين النوويين. ويطلق عليه قاعدة القياس gauge principle، وكما سأوضح، فإنه يؤدي إلى توحيد لكل القوى الثلاث. توضح القاعدة الثانية سبب أن القوى الثلاث، رغم توحيدها، بالغة الاختلاف. ويطلق عليها كسر التماثل الذاتي. تشكل هاتان القاعدتان معًا حجر الزاوية للنموذج المعياري

لفيزياء الجسيمات. وكان على تطبيقهما الدقيق أن ينتظر اكتشاف أن جسيمات مثل البروتون والنيوترون ليسا جسيمين أوليين بالمرة، وهما بدلاً عن ذلك يتكونان من كواركات.

لكل من البروتون والنيوترون ثلاثة كواركات، بينما للجسيمات الأخرى، الميزونات اثنين (والأكثر رجحانًا كوارك وكوارك مضاد). تم هذا الاكتشاف في أوائل الستينيات، بشكل مستقل، بواسطة موراي جيل-مان Murray Gell-Mann في كالتيك وجورج زويج George Zweig في منظمة الأبحاث النووية الأوروبية CERN في جنيف. بعد ذلك بقليل، اقترح جيمس بجوركين James Bjorken، من مركز المسارع الخطي في ستانفورد SLAC، وريشارد فينمان من كالتيك تجارب أثبتت، عندما أجروها لاحقًا في SLAC، أن البروتون والنيوترون يتكون كل منهما بالفعل من ثلاثة كواركات.

كان اكتشاف الكواركات خطوة جوهرية نحو التوحيد لأن التفاعل بين البروتونات، والنيوترونات والجسيمات الأخرى تم استكماله بشكل متزايد. لكن كان هناك أمل في أن القوة بين الكواركات قد تكون هي نفسها بسيطة وأن التعقدات المرصودة تنشأ لأن البروتونات والنيوترونات جسيمات مركبة. ثبت أن هذا النوع من المفاهيم حقيقي من قبل: في حين أن القوى بين الجزيئات معقدة، فإن القوى بين الذرات التي تتكون منها يمكن فهمها بسهولة بمصطلحات الكهرومغناطيسية. كانت الفكرة أن على علماء النظريات الكف عن محاولة فهم القوة بين البروتونات والنيوترونات بالمصطلحات الأساسية

والتساؤل بدلاً من ذلك عن كيفية تأثير هذه القوة على الكواركات. هذا ميل للتبسيط في العمل – الخدعة القديمة بأن القوانين التي تتحكم في الأجزاء تكون أكثر سهولة غالبًا من تلك التي تتحكم في الكل الشامل – وقاد الأمر في النهاية إلى اكتشاف العمومية العميقة التي تربط القوتين النوويتين، الشديدة والضعيفة، مع الكهرومغناطيسية. كل القوى الثلاث هي نتائج قاعدة القياس البسيطة ولكن القوية.

قاعدة القياس يمكن فهمها بشكل أفضل بمصطلحات شيء ما يشير إليه علماء الفيزياء باعتباره التماثل. لكن ببساطة، أي تماثل هو عملية لا تغير في كيفية سلوك شيء ما بالنسبة للعالم الخارجي. على سبيل المثال، لو أنك أدرت كرة، فإنك لا تغيرها، وتظل كروية. لذلك عندما يتكلم علماء الفيزياء عن التماثل، قد يشيرون إلى عملية في المكان، مثل الدوران، لا تغير نتيجة أية تجربة. لكن قد يشيرون أيضًا إلى أي نوع من التغير الذي يمكن أن نحدثه في تجربة لا تغير النتيجة. مثلاً، افترض أنك أخذت مجموعتين من القطط – مثلاً، قطط على الجانب الشرقي وقطط على الجانب الغربي – واختبرت قدراتها على القفز. لو أنه لا يوجد اختلاف في القفزة المتوسطة التي يمكن لقطة ما قفزها، عندئذ نقول إن قفز القطة متماثل في عملية مقايضة كل قطط الجانب الشرقي لديك بقطط الجانب الغربي.

وهنا مثال آخر، مبسط ومعروض بشكل مثالي لكي يناسب الفكرة. افترض تجربة يتم من خلالها إحداث تسارع لحزمة من البروتونات ثم تم توجيهها إلى هدف يتكون من أنواع معينة من النوى. سوف تلاحظ، حسب التجربة، النمط

الذي تتخذه البروتونات وهي تبعثر النوى في الهدف. والآن، بدون تغيير الطاقة أو الهدف، تكون قد استبدلت النيوترونات محل البروتونات. في حالات محددة، من الصعب تغير نمط البعثرة. ويقال إن التجربة تظهر أن القوى الفاعلة تعمل بنفس الطريقة على البروتونات والنيوترونات. بعبارة أخرى، فعل استبدال البروتونات بالنيوترونات تماثل للقوى بينها وبين النوى في الهدف.

هكذا نعرف أن التماثلات أمر طيب، لأنها تخبرنا بشيء حول القوى المتضمنة. في المثال الأول، عرفنا أن قوة الجاذبية على القطط لا تعتمد على المكان الذي أتت منه القطط، وفي الثاني، أن قوى نووية معينة لا يمكنها أن تخبرنا بالفرق بين البروتون والنيوترون. أحياناً يكون كل ما نحصل عليه من التماثل هو هذه المعلومات الجزئية حول القوى. لكن هناك مواقف خاصة تحدد فيها التماثلات القوى بشكل كامل. ويتضح أن تلك حالة فئة معينة من القوى تسمى قوى القياس gauge forces. لن أزعجك بالكيفية الدقيقة التي تعمل بها هذه القوى، لأننا لا نحتاج إلى ذلك(١). لكن حقيقة أن كل خواص قوة ما يمكن تحديدها بمعرفة التماثلات لهي أحد أهم الاكتشافات في فيزياء القرن العشرين. تلك هي فكرة ما تعنيه قاعدة القياس(٢).

هناك أمران يجب أن نعرفهما حول قاعدة القياس. أحدهما أن القوى التي تؤدي إليها تتحول بواسطة جسيمات يطلق عليه بوزونات قياس. الآخر أننا نحتاج إلى معرفة أن القوى الكهرومغناطيسية، والشديدة والضعيفة يتضح أنها قوى من هذا النوع. بوزون القياس المناظر للقوة الكهرومغناطيسية يسمى فوتون. والتي تناظر القوة الشديدة التي تربط الكواركات معًا تسمى

جلوونات. وتلك التي تناظر القوة الضعيفة لها اسم أقل إثارة – يطلق عليها، ببساطة، البوزونات الضعيفة.

قاعدة القياس هي "الفكرة الرياضية الجميلة" التي تم ذكرها في الفصل ٣، والتي اكتشفها هرمان ويل في محاولته الفاشلة ١٩١٨ عند توحيد الجاذبية والكهرومغناطيسية. وويل أحد أعمق علماء الرياضيات الذين تأملوا معادلات الفيزياء في أي وقت، وكان هو الذي فهم أن بنية نظرية ماكسويل تم تفسيرها بالكامل بواسطة قوة قياس. في الخمسينيات، تساءل بعض الأشخاص حول ما إذا كانت نظريات مجال أخرى يمكن إنشاؤها باستخدام قاعدة القياس. اتضح أنه يمكن عمل ذلك ببنائها على تماثلات تتضمن الأنواع المختلفة للجسيمات الأولية. ويطلق على هذه النظريات الآن نظريات يانج-ميلز، تبعًا لاسمي اثنين من مبتكريها[٣]. في البداية لم يعرف أحد ما يمكن عمله بهذه النظريات. قد يكون للقوى الجديدة التي تقدمها نطاق لانهائي، مثل الكهرومغناطيسية. عرف علماء الفيزياء أن لكل من القوتين النوويتين نطاقا قصيرا، لذلك لم يبد أنهما يمكن وصفهما بنظرية قياس.

الذي جعل الفيزياء النظرية فنًا مثل العلم هو أن أفضل علماء النظريات كان لديهم حاسة سادسة حول النتائج التي يمكن تجاهلها. لذلك، في بداية الستينيات، اقترح شيلدون جلاشو Sheldon Glashow، والذي كان حينئذ منخرطًا في الدراسة الأكاديمية في معهد نيلز بور، أن القوة الضعيفة يتم وصفها بالفعل بنظرية قياس. وكان قد افترض ببساطة أن بعض الآليات المجهولة تحد من نطاق القوة الضعيفة. لو أمكن حل مشكلة النطاق هذه، يمكن عندئذ توحيد

القوة الضعيفة مع الكهرومغناطيسية. لكن المشكلة في مجملها ظلت في المواجهة: كيف يمكنك توحيد قوى تُظهر نفسها باعتبارها مختلفة عن ما تفعله الكهرومغناطيسية والقوتين النوويتين الشديدة والضعيفة؟

هذا مثال عن المشكلة العامة التي تُبتلى بها كل محاولة توحيد تقريبًا. الظواهر التي ترغب في توحيدها مختلفة – وإلا لما كان هناك ما يدهش في توحيدها. لذلك حتى لو أنك اكتشفت وحدة ما خفية، يظل عليك أن تفهم سبب وكيفية أنها تبدو مختلفة.

كما رأينا سابقًا، كان لدى أينشتاين طريقة مدهشة في حل هذه المشكلة من أجل النسبية الخاصة والعامة. أدرك أن الاختلاف الظاهري بين الظواهر لم يكن جوهريًا بالنسبة للظواهر لكنه يعود بالكامل إلى ضرورة وصف الظواهر من وجهة نظر راصد ما. وتم بهذه الطريقة توحيد مجمل الكهرباء والمغناطيسية، والحركة والسكون، والجاذبية والتسارع، بواسطة أينشتاين. الاختلافات التي يدركها الراصدون بينها تعتبر من ثم مشروطة، لأنها تعكس فقط وجهة نظر الراصدين.

في الستينيات، تم اقتراح حل مختلف لهذه المشكلة العامة: الاختلافات بين الظواهر الموحدة مشروطة، ولا يعود ذلك إلى وجهة نظر راصدين محددين. وبدلاً من ذلك، فعل علماء الفيزياء ما بدا في البداية ملاحظة أولية: قد يكون للقوانين تماثل لا يتفق مع كل سمات العالم الذي يتم تطبيقها عليه.

دعني أوضح ذلك أولاً بقوانيننا الاجتماعية. يتم تطبيق قوانيننا على كل الناس. قد ننظر إلى ذلك باعتباره تماثلا للقوانين. إذا استبدلت أي شخص بأي شخص آخر لا تكون قد غيرت القوانين التي يجب عليهما طاعته. على الجميع دفع ضرائب، ولا يجب على أحد تخطي السرعة المحدودة. لكن هذه المساواة أو التماثل في مواجهة القانون لا يحتاج ولا يتطلب أن تكون ظروفنا متماثلة. بعضنا أكثر ثراء من الآخرين. وليس لدينا جميعًا سيارات، وبالنسبة لمن لديهم فإن الميول لتجاوز السرعة المحددة قد تختلف لدى كل منهم.

يضاف إلى ذلك، في مجتمع مثالي نبدأ جميعًا بفرص متساوية. ليست هذه هي الحالة بالفعل لسوء الحظ، لكن لو كانت كذلك يمكننا الحديث عن تماثل في فرصنا الأولية. مع مرور الحياة، يتلاشى هذا التماثل الأولي. عندما نبلغ العشرين من العمر، يكون لدينا فرص مختلفة جدًا. القليل منا من يكون لديه فرصة أن يكون عازف بيانو في الحفلات الموسيقية، وقلة هي التي تصبح لاعبين رياضيين أولمبيين.

يمكننا وصف هذه الاختلافات بالقول بأن المساواة الأولية تم تحطيمها بمرور الزمن. علماء الفيزياء الذين يتحدثون عن المساواة باعتبارها تماثلا قد يقولون إن التماثل بيننا عند الميلاد تم تحطيمه بمواقف واجهناها واختيارات اخترناها. في بعض الحالات، قد يكون من الصعب التنبؤ بكيفية حدوث ذلك. في حالات مثل هذه نعني أنه من الضروري تحطيم التماثل، لكن كيفية تحطيمه بالضبط يعتبر مشروطًا إلى حد كبير. تحطيم التماثل التلقائي هذا هو المبدأ الثاني الكبير الذي يشكل أساس النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات.

وهنا مثال آخر من الحياة الإنسانية. باعتباري عضو هيئة أساتذة، كانت لدى الفرصة أحيانًا للذهاب إلى استقبال المتخرجين الجدد. وأنا أراقبهم وهم يقابلون بعضهم البعض، حدث أمامي أن أصبح بعضهم أصدقاء، وآخرون أحبة، بل وقلة منهم تزوجوا. في هذه اللحظة الأولى، عندما قابلوا بعضهم البعض كغرباء، كانت هناك كمية كبيرة من التماثل في الغرفة، الكثير من الأزواج المحتملين وجماعات الصداقة يمكن تشكيلها في هذه المجموعة. لكن للضرورة يجب تحطيم التماثل باعتباره العلاقات الإنسانية الفعلية التي تتطور عن فضاء أوسع بكثير للعلاقات الممكنة. هذا، أيضًا، مثال عن تحطيم التماثل التلقائي.

غالبية بينة العالم، سيان كانت اجتماعية أو مادية، هي نتيجة متطلبات أن يحطم العالم، في واقع الأمر، التماثلات الموجودة في فضاء الاحتمالات. إحدى السمات المهمة في هذه المتطلبات هي المقايضة بين التماثل والاستقرار. الموقف المتماثل، وفيه نكون جميعًا أصدقاء محتملين وشركاء رومانسيين، غير متزن. وفي الحقيقة، علينا أن نختار، وهذا يؤدي إلى المزيد من التوازن. نقايض الحرية غير المستقرة للإمكانية بالتجربة المتزنة للأمر الواقع.

نفس الشيء صحيح في الفيزياء. المثال المشترك من الفيزياء هو ما يخص توازن القلم الرصاص على طرفه. هو متماثل، ويحدث ذلك بينما يكون متزنًا على طرفه، واتجاه ما يكون جيدًا مثل أي اتجاه آخر. لكنه غير متزن. وعندما يسقط القلم، وهو ما يجب أن يحدث بشكل لا يمكن تجنبه، سوف يسقط بشكل عشوائي، في اتجاه أو آخر، محطمًا التماثل. بمجرد

سقوطه، يكون متزنًا، لكنه لا يُظهر بعد ذلك تماثلاً – رغم أن التماثل لا يزال قائمًا في القوانين الضمنية. تصف القوانين فقط مكانا ما قد يحدث، ويتضمن العالم الذي تحكمه هذه القوانين اختيارًا لتحقق واحد من بين الكثير من الاحتمالات.

آلية تحطيم التماثل التلقائي هذه قد تحدث للتماثلات بين الجسيمات في الطبيعة. عندما تحدث للتماثلات التي تُظهر، بمبدأ القياس، قوى الطبيعة، تؤدي إلى اختلافات في خواصها. تصبح القوى قابلة للتمييز، قد يكون لها نطاقات مختلفة وشدة مختلفة. قبل تحطم التماثل، يكون لكل القوى الأربع الأساسية نطاق لانهائي، مثل الكهرومغناطيسية، لكن بعض ذلك سيكون لبعضها نطاق محدود، مثل القوتين النوويتين. كما تمت ملاحظته، هذا أحد الاكتشافات المهمة في فيزياء القرن العشرين، لأنه مع قاعدة القياس يسمح لنا بتوحيد القوى الأساسية التي تبدو مختلفة تمامًا.

تم ابتكار فكرة الجمع بين تحطيم التماثل التلقائي ونظريات القياس بواسطة فرانسوا إنجليرت Francois Englert وروبرت بروت Robert Brout في بروكسل، في ١٩٦٢، وبشكل مستقل بعد بضعة أشهر بواسطة بيتر هيجز Peter Higgs من جامعة إدنبورف. ويجب تسميتها ظاهرة EBH، لكنه يتم تسميتها عادة لسوء الحظ ظاهرة هيجز. (هذا مثال من الأمثلة الكثيرة يتم فيه تسمية شيء ما في العلم تبعًا لآخر شخص اكتشفه، أكثر مما يحدث مع الأول). أوضح ثلاثتهم أيضًا أن هناك جسيما يعتبر وجوده نتيجة لتحطيم التماثل التلقائي. ويطلق عليه بوزون هيجز.

بعد بضع سنوات، في ١٩٦٧، اكتشف ستيفن وينبرج Steven Weinberg وعالم الفيزياء الباكستاني عبد السلام بشكل مستقل أن الجمع بين مبدأ القياس وتحطم التماثل التلقائي يمكن استخدامه في إنشاء نظرية راسخة توحد بين القوتين الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة. وتحمل النظرية اسميهما: نموذج وينبرج سلام للقوة الكهروضعيفة. كان هذا بالتأكيد توحيدا له نتائجه يجب الإعلان عنه، وأدى بسرعة إلى تنبؤات بالظواهر الجديدة التي تم إثباتها بنجاح. تتضمن، مثلاً، أنه يجب أن يكون هناك جسيمات – تماثل الفوتون، وتحمل قوة كهرومغناطيسية – لتحمل القوة النووية الضعيفة. وهناك ثلاثة منها، تسمى W^+، وW^-، وZ. وتم التوصل إلى هذه الجسيمات الثلاثة كلها، وهي تُظهر بالضبط الخواص التي تم التنبؤ بها.

وكان لاستخدام تحطم التماثل التلقائي في النظرية الأساسية توابع عميقة، ليس فقط بالنسبة لقوانين الطبيعة ولكن بالنسبة لمسائل أكبر حول كينونة أي قانون للطبيعة. قبل ذلك، كان من المعتقد أن خواص الجسيمات الأولية يتم تحديدها مباشرة بواسطة قوانين الطبيعة الأبدية المعطاة. لكن في نظرية ما مع تحطيم التماثل التلقائي، دخل عنصر جديد، وهو أن خواص الجسيمات الأولية تعتمد جزئيًا على تاريخ وبيئة. قد يتحطم التماثل بطرق مختلفة، اعتمادًا على أحوال مثل الكثافة ودرجة الحرارة. بشكل أكثر عمومية، تعتمد خواص الجسيمات الأولية ليس فقط على معادلات النظرية ولكن نوع الحل لهذه المعادلات الذي ينطبق على كوننا.

يشير هذا إلى تحول عن الاختزالية العادية reductionism، والذي تبعًا له تكون خواص الجسيمات الأولية أبدية ويعالجها قانون مطلق. ويفتح احتمال أن يكون الكثير - أو حتى كل - خواص الجسيمات الأولية مشروطًا ويعتمد على نوع حل القوانين الذي يتم اختياره في منطقتنا من الكون أو في فترتنا الزمنية الخاصة. قد تختلف هذه الخواص في المناطق المختلفة[٤]. بل قد تتغير مع الزمن.

في تحطم التماثل التلقائي، كمية فيزيائية تشير قيمتها إلى أن التماثل محطم وكيف تم تحطيمه. هذه الكمية تكون عادة مجالاً، يسمى مجال هيجز. يتطلب نموذج وينبرج- سلام أن يكون مجال هيجز موجودًا وأن يُظهر نفسه باعتباره جسيمًا أوليًا جديدًا يسمى بوزون هيجز، يحمل قوة يصاحبها مجال هيجز. من بين كل التنبؤات التي يتطلبها توحيد القوتين الكهرومغناطيسية والضعيفة، لم تثبت صحة سوى هذا المجال حتى الآن. إحدى الصعوبات أن النظرية لا تسمح لنا بالتنبؤ الدقيق بكتلة بوزون هيجز، وهي أحد الثوابت الحرة التي تطلب منا النظرية وضعها. كان هناك الكثير من التجارب التي تم تصميمها للعثور على بوزون هيجز، لكن كل ما نعرفه هو أنه لو كان موجودًا، يجب أن تكون كتلته أكبر بنحو ١٢٠ مرة من كتلة البروتون. أحد الأهداف الرئيسية لتجارب المسارعات في المستقبل هو العثور عليه.

في بداية السبعينيات، تم تطبيق مبدأ القياس على القوة النووية الشديدة، القوة التي تربط الكواركات، وتم التوصل إلى أن مجال قياس مسئول عن هذه القوة، أيضًا. والنظرية الناتجة عن ذلك تسمى الديناميكا اللونية الكمية

quntum chromodynamics، أو QCD اختصارًا. (كلمة chromo، من الكلمة اليونانية التي تعني "لون"، تشير إلى تعيين خيالي مستخدم للإشارة إلى حقيقة أن الكواركات تأتي على هيئة ثلاث نسخ، والتي للمرح، تسمى ألوانا). نجحت QCD، أيضًا، من اختبارات التجارب الصارمة. ومع نموذج وينبرج -سلام يعتبران أساس النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات الأولية.

كان اكتشاف أن كل القوى الثلاث تعبيرات عن مبدأ توحيد واحد – قاعدة القياس – هو أعمق إنجاز في الفيزياء النظرية للجسيمات حتى الآن. ويعتبر الأشخاص الذين قاموا بذلك أبطالا حقيقيين للعلم.والنموذج المعياري هو نتيجة لعقود من العمل الصعب، والعمل التجريبي والنظري المحبط بواسطة مئات من الأشخاص. اكتمل في ١٩٧٣، واستمر بقوة ثلاثين عامًا في مواجهة مجموعة كبيرة من التجارب. نحن علماء الفيزياء فخورون به حقًا.

لكن انظر إلى ما حدث بعد ذلك. تم فهم كل القوى الثلاث الآن باعتبارها تعبيرات لنفس المبدأ، وكان من الواضح أنه يجب توحيدها. مع ذلك، لتوحيد كل الجسيمات تحتاج إلى تماثل كبير يتضمنها كلها. ثم تطبق عندئذ قاعدة القياس، التي تُظهر القوى الثلاث. لتمييز كل الجسيمات والقوى، يجب أن تضع هذا التماثل بحيث يكون أي ترتيب للمنظومة، حيث يتحقق التماثل، غير مستقر، بينما تكون الترتيبات المستقرة متماثلة. ليس من الصعب فعل ذلك لأن مواقف التماثل، كما ذكرت، تكون غالبًا غير مستقرة في الطبيعة. بذلك فإن التماثل بما فيه كل الجسيمات معًا سوف يتحطم تلقائيًا. يمكن فعل ذلك بحيث ينتهي أمر القوى الثلاث بنفس الخواص التي تم رصدها لها.

لم تكن فكرة التوحيد الكبير هي فقط جمع القوى معًا ولكن ابتكار تماثل يحول الكواركات (الجسيمات التي تتحكم فيها القوة الشديدة) إلى لبتونات (الجسيمات التي تتحكم فيها القوة الكهروضعيفة)، ومن ثم توحيد النوعين الأساسيين للجسيمات، مع ترك نوع واحد فقط من الجسيمات ونوع واحدٍ من مجالات القياس. المرشح الأكثر بساطة لهذا التوحيد الكبير كان معروفًا باسم تماثل SU(5). الاسم شفرة لخمسة أنواع من الجسيمات تمت إعادة تنظيمها بواسطة التماثل: الكواركات الثلاثة الملونة لكل نوع ولبتونين (الإلكترون والنيوترينو الخاص به). لا يوحد SU(5) فقط بين الكواركات واللبتونات، فهو يفعل ذلك بأناقة لا نظير لها، شارحًا بشكل مختصر كل ما أتى في النموذج المعياري ويجعل من الضروري ما كان سابقًا عشوائيًا إلى حد كبير. يفسر SU(5) كل تنبؤات النموذج المعياري، بل ما هو أفضل، يقدم تنبؤات جديدة.

أحد هذه التنبؤات الجديدة هو أنه لا بد من وجود عمليات يمكن للكواركات من خلالها أن تتغير إلى إلكترونات ونيوترونات، لأنه في SU(5)، تعتبر الكواركات، والإلكترونات، والنيوترونات مجرد مظاهر مختلفة لنفس نوع الجسيمات الجاري معالجتها. وكما رأينا، عندما يتم توحيد شيئين، يجب أن تكون هناك عمليات فيزيائية جديدة يمكنهما من خلالها التحول أحدهما إلى الآخر. ويتنبأ تماثل SU(5) بالفعل بمثل هذه العملية، التي تشبه التحلل الإشعاعي. هذا تنبؤ مدهش، يميز التوحيد الكبير. وهو مطلوب بالنظرية وفريد بالنسبة إليها.

تحلل الكوارك إلى إلكترونات ونيوترونات قد تكون له نتيجة مرئية. لا يظل البروتون الذي يحتوي على الكوارك بروتونًا، وينهار إلى شيء أكثر بساطة. بذلك، لا تظل البروتونات جسيمات مستقرة – ويحدث لها نوع من التحلل الإشعاعي. بالطبع، لو حدث ذلك في الغالبية العظمى، قد ينهار عالمنا، حيث إن كل شيء مستقر فيه مصنوع من البروتونات. لذلك تحللت البروتونات، يجب أن يكون المعدل بالغ الصغر. وهذا بالضبط ما تتنبأ به النظرية: معدل أقل من واحد لهذا التحلل كل $١٠^{٣٣}$ سنة.

لكن حتى رغم أن هذه الظاهرة نادرة تمامًا، فإنها في نطاق التجربة التي يمكن إجراؤها، لأن هناك عددا هائلا من البروتونات في العالم. لذلك نجد في التماثل SU(5) أفضل نوع من النظريات الموحدة، نظريه كان لها نتيجة مدهشة لم تتناقض مع ما عرفناه ويمكن إثباتها على الفور. يمكننا تعويض الندرة البالغة لتحلل البروتون بإنشاء خزان هائل وملئه بماء فائق النقاء، على أمل أن يتحلل بروتون في مكان ما في الخزان ولو مرات قليلة في السنة. قد يكون عليك حماية الخزان من الأشعة الكونية، لأن هذه الأشعة، التي تقصف الأرض باستمرار، يمكنها تحطيم البروتونات. بعد ذلك، ولأن تحلل البروتون ينتج عنه كمية كبيرة من الطاقة، كل ما عليك فعله هو إحاطة الخزان بكشافات والانتظار. تم رفع التمويل، وتم بناء خزانات في مناجم عميقة تحت الأرض. وتم انتظار النتائج بتوق شديد.

بعد ما يقرب من خمس وعشرين سنة، مازلنا ننتظر. لم يتحلل أي بروتون. ولقد انتظرنا زمنا طويلاً بما فيه الكفاية لمعرفة أن التوحيد الكبير لتماثل SU(5) خطأ. إنها فكرة جميلة، لكنها فكرة يبدو أن الطبيعة لم تتبنها.

حديثًا، وحدث مصادفة صديقًا من خريجي الجامعة - إدوارد فارهي Edward Farhi، والذي أصبح في ذلك الحين مديرًا لمركز الفيزياء النظرية في معهد مساشوسيتس للتقنية. لم يكن قد جرى بيننا حديث جاد منذ نحو عشرين سنة، لكننا وجدنا أن لدينا الكثير لنتكلم عنه. كان كل منا يفكر في ما حدث وما لم يحدث في فيزياء الجسيمات خلال الخمس وعشرين سنة الماضية منذ حصلت على درجة الدكتوراه في الفلسفة. كان إدي قد أنجز مساهمات مهمة في نظرية الجسيمات لكنه يعمل الآن غالبًا في المجال المتطور بسرعة للحاسبات الكمية. سألته عن السبب، وقال إننا نعرف في الحوسبة الكمية، وهو ما لا يشبه فيزياء الجسيمات، ماهية المبادئ، ويمكننا تحقيق التضمينات، ويمكننا إجراء التجارب لاختبار التنبؤات التي نتوصل إليها. وجدنا أنفسنا أنا وهو نحاول تحديد الزمن الذي توقفت فيه فيزياء الجسيمات عن أن تكون المجال سريع التطور الذي أثار اهتمامنا عند تخرجنا من الجامعة. واستنتج كلانا أن نقطة التحول كانت اكتشاف أن البروتونات لا تتحلل خلال الزمن الذي تنبأت به نظرية التوحيد لتماثل SU(5). "لعلي راهنت بحياتي - حسنًا، ربما ليس بحياتي، ولكن أنت تعرف ما أعني - على أن البروتونات تتحلل"، هذا ما أوضحه. "كان تماثل SU(5) نظرية بالغة الجمال، حتى إن كل شيء كان يتلاءم معها تمامًا - ثم يتضح أنها غير صحيحة".

بالفعل، لعله كان من الصعب الاستهانة بتضمينات هذه النتيجة السلبية. تماثل SU(5) أكثر الطرق أناقة التي يمكن تخيلها لتوحيد الكواركات مع اللبتونات، ويؤدي إلى تنظيم لخواص النموذج المعياري بمصطلحات بسيطة. حتى بعد خمس وعشرين سنة، لازلت أجد أنه من الصادم بشدة أن تماثل SU(5) غير ناجح.

ليس فقط أنه من الصعب بالنسبة إلينا نحن علماء الفيزياء تجنب الفشل الراهن. يمكنك فقط إضافة بضعة تماثلات وجسيمات إضافية للنظرية، بحيث لا يكون هناك المزيد من الثوابت التي تتطلب التعديل. بوجود المزيد من الثوابت التي تتطلب التعديل، يمكنك عندئذ تنظيم تحلل البروتون ليكون بالندرة التي ترغب فيها. يمكنك من ثم بسهولة جعل النظرية آمنة من الفشل التجريبي.

بقولنا هذا يكون الدمار قد تم. نفقد فرصة ملاحظة تنبؤ مبهر وفريد من نوعه للفكرة الجديدة العميقة. في نسخته الأكثر بساطة، يقدم التوحيد الكبير تنبؤًا لندرة تحلل البروتون. لو أن التوحيد الكبير صحيح لكنه معقد، بحيث يمكن توفيق تحلل البروتون بأي شيء نرغب فيه، فإنه يتوقف عن أن يكون تفسيريًا. كان الأمل أن يعلل التوحيد قيم الثوابت في النموذج المعياري. وبدلاً عن ذلك، يقدم التوحيد الكبير، إذا كان صحيحًا، ثوابت جديدة يتم معاملاتها يدويًا لإخفاء الظواهر الخفية التي قد لا تتفق مع التجربة.

رأينا هنا تصورًا عن الدرس العام الذي ذكرناه سابقًا. عندما توحد جسيمات وقوى مختلفة، تخاطر بإحداث عدم توازن في العالم. ويعود ذلك لوجود تفاعلات جديدة يمكن للجسيمات الموحدة من خلالها أن تتشكل ببعضها البعض. ليست هناك طريقة لتجنب عدم التوازنات هذه، وبالفعل هذه

العمليات هي نفس إثبات التوحيد. السؤال الوحيد هو ما إذا كنا نتعامل مع حالة جيدة - مثل النموذج المعياري، الذي يقدم تنبؤات غير مبهمة تم إثباتها بسرعة - أم مع حالة فظة، خلالها يكون علينا التلاعب بالنظرية لإخفاء التوابع. ذلك هو مأزق نظريات التوحيد الحديثة.

٥

من التوحيد إلى التوحيد الفائق

أدى فشل أول نظرية توحيد كبرى إلى أزمة في العلم استمرت حتى يومنا هذا. قبل السبعينيات، تطورت النظرية والتجربة معًا. وتم اختبار أفكار جديدة في بضع سنوات، عشر سنوات على الأغلب. وشهد كل عقد من ثمانينيات القرن الثامن عشر حتى سبعينيات القرن الماضي على تطور مهم في معرفة أسس الفيزياء، وفي كل تطور كانت النظرية تكمل التجربة، لكن منذ نهاية السبعينيات لم يكن هناك اختراق حقيقي واحد في فهمنا لفيزياء الجسيمات الأولية.

عندما تفشل فكرة كبيرة، تكون هناك طريقتان للاستجابة. يمكنك تخفيض المعيار والتراجع إلى العلم التدريجي، بأن تسبر ببطء حدود المعرفة بتقنيات نظرية وتجريبية جديدة. فعل ذلك الكثير من علماء فيزياء الجسيمات. وكانت النتيجة أنه تم اختبار النموذج المعياري تجريبيًا بشكل جيد جدًا. وكانت أغلب النتائج المهمة للربع الأخير من القرن هي أن جسيمات النيوترينو لها كتلة، لكن لعل هذه الرؤيا اتسعت لتعديل ثانوي في النموذج المعياري. باستثناء ذلك، لم يتم إجراء أي تعديل.

الطريقة الأخرى للاستجابة لفشل فكرة كبيرة هي محاولة الوصول حتى إلى فكرة أكبر. في البداية اتخذ هذا الطريق بضعة علماء نظريات، ثم تنامى عددهم. إنه طريق علينا أن نتخذه وحدنا، حتى الآن، وليس لأي أفكار جديدة فيه أي دعم من التجربة.

من بين الأفكار الكبيرة التي تم ابتكارها ودراستها خلال هذه السنوات، هي فكرة جذبت أكبر اهتمام ويطلق عليها التماثل الفائق. لو كانت صحيحة، سوف تصبح أساسية كجزء من فهمنا للطبيعة مثلها مثل النظرية النسبية وقاعدة القياس.

لقد رأينا أن التوحيدات الكبيرة تجد روابط خفية بين جوانب الطبيعة كان يُظن سابقًا أنها متميزة. كان المكان والزمن في الأصل مفهومين مختلفين جدًا، وحدتهما النظرية المكانية للنسبية. وكانت الهندسة والجاذبية في زمن ما غير مرتبطين تمامًا، ووحدتهما النسبية العامة. لكن لا يزال هناك نوعان كبيران من الأشياء يشكلان العالم الذي نسكن فيه: الجسيمات (كواركات، إلكترونات..إلخ) تشكل المادة والقوى (أو المجالات) التي تتفاعل بها.

توحد قاعدة القياس بين ثلاثة من هذه القوى. لكن لا يزال لدينا هاتان الهويتان المميزتان: الجسيمات والقوى. كان توحيدهما هو هدف محاولتين سابقتين، نظرية الأثير ونظرية المجال الموحد، وكلاهما فشل. والتماثل الفائق هو المحاولة الثالثة.

تقول نظرية الكم إن الجسيمات موجات وإن الموجات جسيمات، لكن هذا لا يوحد بالفعل الجسيمات مع القوى. السبب أنه في نظرية الكم يظل هناك نوعان واسعان من الأشياء الأولية. وهي ما يطلق عليه الفرميونات والبوزونات.

كل الجسيمات التي تشكل المادة، مثل الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات، هي فرميونات. وتتكون كل القوى من بوزونات. الفوتون بوزون، وكذلك الجسيمات، مثل جسيما W وZ، المصاحبة لمجالات القياس الأخرى. جسيم هيجز هو بوزون أيضًا. يقدم التماثل الفائق طريقة لتوحيد هذين النوعين الكبيرين من الجسيمات، البوزونات والفرميونات. وهو يفعل ذلك بطريقة خلاقة جدًا، باقتراح أن كل جسيم معروف حتى الآن له شريك فائق غير مرئي.

بشكل تقريبي، يعتبر التماثل الفائق عملية يمكنك خلالها استبدال أحد الفرميونات ببوزون في بعض التجارب بدون تغيير احتمالات النتائج الممكنة المختلفة. من الخداع فعل ذلك، لأن الفرميونات والبوزونات لها خواص مختلفة جدًا. على الفرميونات إطاعة مبدأ الاستبعاد، الذي ابتكره ولفجانج باولي في ١٩٢٥، والذي يقول إنه لا يمكن لفرميونان احتلال نفس الحالة الكمية. وهذا هو سبب أن كل الإلكترونات في ذرة ما لا يمكنها احتلال أكثر المدارات انخفاضًا، بمجرد أن يكون إلكترون ما قد وجد في مدار معين، أو حالة كمية، لا يمكنك وضع إلكترون آخر في نفس الحالة. يفسر مبدأ الاستبعاد لباولي الكثير من خواص الذرات والمواد. ومع ذلك، تسلك البوزونات بالطريقة العكسية: فهي تحب التشارك في الحالات. عندما تضع فوتونًا في حالة كمية معينة، تجعله من المرجح أكثر أن يجد فوتون آخر طريقه إلى نفس الحالة. هذا التآلف يفسر الكثير من خواص المجالات، مثل المجال الكهرومغناطيسي.

لذلك بدا من الجنوني في البداية أنك تستطيع ابتكار نظرية يمكنك من خلالها استبدال بوزون بفرميون ويظل لديك عالم متزن. لكن سيان كان ذلك صحيحا أم لا، توصل أربعة من الروس إلى أنه يمكنهم كتابة نظرية متسقة بمثل هذا التماثل فقط، والتي نطلق عليها الآن التماثل الفائق. كانوا هم إفجيني ليكتمان Evgeny Likhtman ويوري جولفاند Yury Golfan في ١٩٧١ وفلاديمير أكولوف Vladimir Akulov ودميتري فولكوف Dmitri Volkov في ١٩٧٢.

في تلك الأيام، كان العلماء في الغرب بعيدين إلى حد ما عن علماء الإتحاد السوفييتي. فقط كان من النادر السماح للعلماء السوفييت بالسفر، ولم يكونوا يتلقون تشجيعًا للنشر في المجلات غير السوفييتية. ولم يكن أغلب علماء الفيزياء الغربيين يقرأون ترجمات المجلات السوفييتية، لذلك كانت هناك عدة اكتشافات تمت في الاتحاد السوفييتي لم يتم معرفة قيمتها في الغرب. وكان اكتشاف التماثل الفائق أحد هذه الاكتشافات.

لذلك فإن نظريات التماثل الفائق تم ابتكارها مرتين إضافيتين. في ١٩٧٣، كانت هناك عدة أنواع اكتشفها عالما فيزياء أوربيين، جولياس ويس Julius Wess وبرونو زامينو Bruno Zumino. وفي ما لا يشبه العمل الذي قام به الروس، تم الاهتمام بعملهما، وتم تطوير الأفكار بسرعة. كانت إحدى نظرياتهما امتدادًا للكهرومغناطيسية حيث تم توحيد الفوتون بجسيم يشبه النيوترينو إلى حد كبير. ويتصل الاكتشاف الآخر للتماثل الفائق بنظرية الأوتار، وسوف نستكشفه بتفاصيل أكثر لاحقًا.

هل يمكن أن يكون التماثل الفائق صحيحًا؟ ليس في شكله الأولي، والذي افترض أن لكل فرميون هناك بوزون له نفس الكتلة والشحنة. هذا يعني ضرورة وجود بوزون بنفس كتلة وشحنة الإلكترون. هذا الجسيم، لو كان موجودًا، سيتم تسميته بالسلكترون selectron، على أساس أنه إلكترون فائق superelectron. لكن لو كان موجودًا، لكنا قد رأيناه بالفعل في مسارع ما.

مع ذلك، يمكن حل هذه المشكلة بتطبيق فكرة تحطيم التماثل التلقائي على التماثل الفائق. النتيجة واضحة. يحصل السلكترون على كتلة كبيرة، لذلك يصبح أكثر ثقلاً من الإلكترون. بتعديل الثوابت الحرة للنظرية – والتي يتضح أنها كثيرة – يمكنك جعل السلكترون بالثقل الذي ترغب فيه. لكن هناك حد أقصى لمدى ثقل أي جسيم يمكن لمسارع جسيمات متوفر أن ينتجه. بذلك يمكنك تفسير سبب عدم رؤيته حتى الآن في أي مسارع جسيمات موجود. هذا هو بالضبط ما تم فعله.

لاحظ أن لهذه القصة مسارا مماثلا للقصص الأخرى التي ذكرناها. البعض يفترض توحيدًا جديدًا. وهناك توابع ضخمة للتجربة. لسوء الحظ، لا يتفق هذا مع التجربة. عندئذ يعقد العلماء النظرية، بطريقة تدمج عدة ثوابت قابلة للتعديل. أخيرًا، يقوم العلماء بتعديل هذه الثوابت لإخفاء الظواهر الخفية التي تم التنبؤ بها، وبذلك يفسرون سبب أن التوحيد، لو كان صحيحًا، لم ينتج عنه أية ملاحظات. لكن مثل هذه المناورة تجعل من الصعب دحض النظرية، لأنه يمكنك دائمًا تفسير أي نتائج سلبية بتعديل الثوابت.

قصة التماثل الفائق هي قصة، من بدايتها، لمباراة لإخفاء توابع التوحيد. هذا لا يعني أن التماثل الفائق غير صحيح، لكنه يفسر سبب، حتى بعد أكثر من ثلاثة عقود من التطور الكثيف، عدم وجود تنبؤات واضحة قابلة للاختبار لا يزال قائمًا.

يمكنني فقط تخيل شعور ويس، وزامينو وأكولوف (الزميل الروسي الوحيد لهم الذي لا يزال حيًا). لعلهم قد أنجزوا أكثر الاكتشافات أهمية لجيلهم. أو قد يكونون ببساطة قد ابتكروا لعبة نظرية لا علاقة لها بالطبيعة. حتى الآن، لا يوجد دليل على أي من أيهما. في السنوات الثلاثين الأخيرة، كان أول شيء يتم فعله مع كل مسارع جسيمات أولية جديدة يكون قد تم تشغيله هو البحث عن جسيمات يكون التناظر الفائق قد تنبأ به. ولم يتم العثور على أي منها. يتم تعديل الثوابت فحسب إلى مستوى أعلى، وننتظر من جديد حتى التجربة التالية.

يعني ذلك اليوم مراقبة مصادم الهادرونات الكبير (أو LHC)، وهو تحت الإنشاء حاليًا في المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (سيرن). إذا سار كل شيء تبعًا للخطة، سوف يبدأ التشغيل في ٢٠٠٧. وهناك أمل كبير بين علماء فيزياء الجسيمات في أن هذه الآلة سوف تنقذنا من الأزمة. أولاً، نرغب في أن يرى LHC جسيم هيجز، البوزون الثقيل المسئول عن حمل مجال هيجز. إذا لم يفعل ذلك سنقع في مشكلة كبيرة.

لكن الفكرة المعرضة أكثر للخطر هي التماثل الفائق. لو أن LHC رأى التماثل الفائق، ستكون هناك بالتأكيد جوائز نوبل لمبتكريه. وإذا لم يحدث ذلك، سيكون هناك قبعات الغبي – ليس لهم، لأنه ليس عارًا ابتكار نوع جديد

من النظريات، لكن بالنسبة لكل أولئك من جيلي الذين قضوا حياتهم المهنية في توسيع هذه النظرية.

لذلك كان الكثير من الآمال موضوعة على LHC لأن ما يجده سوف يخبرنا أيضًا بالكثير عن إحدى المشاكل الخمس المهمة التي ذكرناها في الفصل ١: كيفية تفسير قيم الثوابت الحرة للنموذج المعياري. لمعرفة السبب، نحتاج إلى فهم إحدى السمات المبهرة جدًا لهذه القيم، وهي أنها إما أن تكون ضخمة جدًا أو صغيرة جدًا. أحد الأمثلة هي الشدة المختلفة إلى حد جامح للقوى. التنافر الكهربائي بين بروتونين أشد من السحب الجاذبي بينهما بعامل هائل، نحو ١٠^٣٨. هناك اختلافات هائلة أيضًا في كتل الجسيمات. على سبيل المثال، للإلكترون ١/١٨٠٠ من كتلة البروتون. وبوزون هيجز، إذا كان موجودًا، له كتلة ١٢٠ مرة على الأقل كتلة البروتون.

إحدى طرق تلخيص البيانات هي القول بأن فيزياء الجسيمات تبدو تراتبية أكثر من الديمقراطية. تشغل القوى الأربع نطاقًا واسعًا من الشدة، لتشكل تراتبية من القوى إلى الضعيف، أي من الفيزياء النووية إلى الجاذبية. وتشكل الكتل المختلفة في الفيزياء أيضًا تراتبية. على القمة كتلة بلانك، وهي الطاقة (تذكر أن الكتلة والطاقة هما نفس الشيء في الواقع) التي تصبح عندها ظواهر الجاذبية الكمية مهمة. وربما يكون الأكثر بعشرة آلاف مرة من كتلة بلانك هو المقياس الذي يكون الفرق من خلاله بين الكهرومغناطيسية والقوى النووية قابل للرؤية. والتجارب التي يتم إجراؤها عند هذه الطاقة، وهو ما يطلق عليه مقياس التوحيد، لا ترى ثلاث قوى ولكن

قوة واحدة. بالانتقال في التراتبية إلى أسفل، ١٠ ^-١٦ مرة مقياس بلانك يوجد التيرا إلكترون فولت TeV، (أو ١٠^١٢ إلكترون فولت)، الطاقة التي يحدث عندها التوحيد بين القوى الضعيفة والكهرومغناطيسية. ويسمى هذا مقياس التفاعل الضعيف. تلك هي المنطقة التي يجب أن نرى فيها بوزون هيجز، وهي أيضًا التي يتوقع الكثير من علماء النظريات أن يروا فيها التماثل الفائق. تم بناء LHC لسبر أغوار الفيزياء عند هذا المستوى. كتلة البروتون ١/١٠٠٠ من هذا، و١/١٠٠٠ أخرى تهبط بنا إلى الإلكترون، وربما ١/١٠٠٠٠٠٠ تصل بنا إلى النيوترينو. عندئذ، بالهبوط إلى أسفل، نجد طاقة الفراغ، التي توجد في مجمل الفضاء حتى في غياب المادة.

يعطي هذا صورة جميلة لكنها محيرة. لماذا الطبيعة بهذه الدرجة من التراتبية؟ لماذا يكون الفرق بين شدة أشد وأضعف قوة بهذه الضخامة؟ لماذا تكون كتل البروتونات والإلكترونات بالغة الصغر مقاربة بكتلة بلانك أو مقياس التوحيد؟ يُشار إلى هذه المشكلة عمومًا باعتبارها مشكلة التراتبية، ونأمل أن يلقي LHC ضوءًا عليها.

إذن ما الذي نراها بالضبط في LHC؟ تلك كانت المسألة الأساسية في بداية السبعينيات. كان لدى علماء النظريات ثلاثة عقود للتجهيز لليوم الذي يبدأ فيه LHC العمل. هل نحن مستعدون؟ من المحرج الإجابة بلا.

لو كنا مستعدين، سيكون لدينا تنبؤ نظري واجب حول ما سيراه LHC، وسنظل ببساطة ننتظر الإثبات. بوضع كل شيء نعرفه عن فيزياء الجسيمات في الاعتبار، من المدهش أن آلافًا من الأشخاص الأكثر ذكاءً على الكوكب يعجزون عن الحصول على تخمينات واجبة حول ما ستكشف عنه القفزة

التجريبية الكبيرة التالية. لكن باستثناء الأمل في رؤية بوزون هيجز، ليس لدينا تنبؤ واضح.

قد تظن أنه في غياب الإجماع العام، لا بد أن تكون هناك بضع نظريات متنافسة على الأقل تقدم مثل هذا التنبؤ. لكن الواقع أكثر إحباطًا بكثير. لدينا عدة افتراضات توحيد مختلفة قيد البحث. كلها قابلة للنجاح، إلى حد ما، لكن أيا منها لم يظهر باعتباره الأكثر بساطة بشكل استثنائي أو الأكثر قدرة على التفسير من غيره. ليس لأي منها حتى الآن سمة الحقيقة. لتفسير سبب أن ثلاثين سنة لم تكن كافية لتنظيم مؤسستنا النظرية، نحتاج إلى النظر عن قرب أكثر إلى مشكلة التراتبية. لماذا يوجد مثل هذا النطاق الهائل من الكتل والثوابت الأخرى؟

تحتوي مشكلة التراتبية على تحديين. الأول هي تحديد ما يعين الثوابت، والذي يجعل النسب كبيرة. الثاني هو كيفية استقرارها هناك. هذا التوازن محير، لأن ميكانيكا الكم لها ميل غريب لجذب كل الكتل معًا نحو قيمة كتلة بلانك. لا نحتاج إلى استكشاف سبب ذلك هنا، لكن النتيجة تبدو كما لو أن بعضا من المؤشرات التي نستخدمها لتعديل الثوابت مرتبطة بشرائط مطاطية تصبح مشدودة أكثر باستمرار.

نتيجة لذلك، يمكننا الاحتفاظ بالنسب الكبيرة في النموذج المعياري، لكن لعمل ذلك علينا اختيار الثوابت بدقة. كلما كانت النسب التي نريد أن تكون عليها الكتل الفعلية أكبر، كان علينا نحن علماء النظريات أن نعدل أكثر في النهاية الكتل الحقيقية (الكتل في غياب الظواهر الكمية) للمحافظة عليها منفصلة. فقط لمعرفة كيف سينتهي الأمر يعتمد ذلك على أنواع الجسيمات المتضمنة.

كتل بوزونات القياس ليست هي المشكلة، حيث يمنع التماثل من الناحية الأساسية الشرائط المطاطية من جذب كتلها. وكلاهما يؤخذ في الاعتبار قبل وبعد الظواهر الكمية، الفوتون، وهو البوزون الذي يحمل مجالاً كهرومغناطيسيًا، ليس له كتلة بالمرة، لذلك فأي منهما لا يمثل مشكلة. ولا يمثل مشكلة أيضًا مقومات المادة، الكواركات واللبتونات، وتكون أجزاؤها التي تأتي من الظواهر الكمية متناسبة مع كتلها الحقيقية. لو كانت الكتل الحقيقية صغيرة، سيكون مجمل الكتل صغيرًا أيضًا. من ثم نقول إن كتل بوزونات وفرميونات القياس محفوظة.

تقوم المشكلة على الجسيمات غير المحفوظة، وهذا يعني في النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات هيجز وهيجز فقط. يتضح أنه لحفظ كتلة هيجز من تنقاد إلى كتلة بلانك، علينا تعديل ثوابت النموذج المعياري إلى دقة مذهلة لاثنتين وعشرين خانة عشرية. أي عدم دقة في أي من هذه الخانات العشرية الاثنتين والثلاثين ينتهي الأمر ببوزون هيجز أن يكون أكثر ثقلاً مما تم التنبؤ به.

التحدي عندئذ هو ترويض هيجز – جعله يهبط في الحجم، هذا هو الأمر. والكثير من الأفكار الكبيرة التي كان على علماء فيزياء الجسيمات استكشافها منذ ١٩٧٥ كان هدفها عمل ذلك فحسب.

إحدى طرق ترويض هيجز اقتراح أنه ليس جسيمًا أوليًا على أي حال. لو أن مصنوعا من جسيمات تسلك بشكل أقل جموحًا، يمكن التخلص من المشكلة. وهناك عدة اقتراحات حول ما هو مصنوع منه بوزون هيجز. أكثر

النظريات أناقة وخفة تفترض أن بوزونات هيجز هي حالات مقيدة لكواركات أو لبتونات ثقيلة جدًا. لم تتم إضافة أي شيء جديد بالمرة – لا جسيمات ولا ثوابت (بارامترات) لتعديلها. تفترض النظرية فحسب أن الجسيمات الثقيلة تلتصق معًا بطرق جديدة. المشكلة الوحيدة مع هذا النوع من النظريات هي أنه من الصعب إجراء الحسابات المطلوبة لفحصها والتحقق من النتائج. كان فعل ذلك خارج قدراتنا التقنية عندما تم بدأ اقتراحها في الستينيات، ولا يزال كذلك.

الافتراض التالي الأكثر أناقة هو أن بوزون هيجز مكون من نوع جديد من الكواركات، يختلف عن تلك التي يتكون منها البروتونات والنيوترونات. ولأن هذا يبدو في البداية حلاً "تقنيًا" للمشكلة، تم تسميتها تكنيكواركات techniquarks. وهي مرتبطة معًا بنوع جديد من القوة، تشبه القوة النووية الشديدة التي تربط الكواركات على هيئة بروتونات ونيوترونات. وحيث إنه يتم تسمية القوة في الديناميكا اللونية الكمية أحيانًا "اللون"، فإن القوة الجديدة تسمى، بالطبع، تكنيكلر technicolor.

هذه الفكرة حسابها أكثر سهولة. المشكلة أنه من الصعب جعل هذه النظرية تتفق مع كل جوانب الملاحظات. لكن ليس هذا مستحيلا، حيث إن هناك الكثير من المتغيرات. أغلبها تم استثناؤه، وتظل قلة منها قابلة للتطبيق.

الخيار الثالث جعل كل الجسيمات الأولية جسيمات مركبة. تابع هذه الفكرة بضعة أشخاص في أواخر السبعينيات. كان من الطبيعي المحاولة: لو أن البروتونات والنيوترونات مكونة من كواركات، لماذا التوقف هنا؟ ربما

هناك مستوى آخر في البنية، حيث يتم اعتبار الكواركات، والإلكترونات، والنيوترونات، بل وحتى جسيمات هيجز وبوزونات القياس مكونة من جسيمات حتى أكثر أساسية وقد نطلق عليها بريونات preons. تعمل هذه النظريات بشكل أكثر أناقة. ولقد أعطتنا التجارب من ثم أدلة على خمسة وأربعين فرميونًا أساسيًا، ويمكن وضعها كلها معًا من تجميعات لمجرد نوعين من البريونات.

فوق ذلك، تفسر نماذج البريون هذه بعض سمات يتم رصدها في الطبيعة لكن النموذج المعياري لا يفسرها. على سبيل المثال، للكواركات خاصتان – اللون والشحنة – تبدوان غير مرتبطتين. ويأتي كل نوع من الكواركات في ثلاث نسخ تسمى ألوانا. ويتيح هذا التثليث التماثل المطلوب لنظرية القياس. ولكن لماذا ثلاثة ألوان؟ لم لا تكون اثنين، أو أربعة؟ لكل كوارك أيضًا شحنة كهربائية، وتأتي هذه الشحنات على هيئة وحدتين تكون ١/٣ و٢/٣ من شحنة الإلكترون. يأتي الرقم ٣ في كل حالة، مما يوحي بأن هاتين الخاصتين، اللون والشحنة، قد يكون لهما أصل مشترك. ولا يعالج النموذج المعياري، ولا نظرية الأوتار، في حدود معرفتي، هذا التزامن، لكنه مفسر ببساطة تامة بنموذج البريون.

لسوء الحظ، كانت هناك أسئلة أساسية لم يستطع نموذج البريون الإجابة عنها. وهذا له علاقة بالقوة المجهولة التي عليها أن تربط البريونات معًا على هيئة جسيمات نلاحظها. كان التحدي هو المحافظة على الجسيمات المرصودة بالصغر التي هي عليه مع المحافظة عليها خفيفة جدًا. ولأن

علماء نظرية البريون لم يستطيعوا حل هذه المشكلة، انتهت نماذج البريون في ١٩٨٠. لقد تحدثت في وقت قريب مع علماء فيزياء مشهورين جدًا حصلوا على درجاتهم في دكتوراه الفلسفة بعد ذلك ولم يسمعوا مطلقًا عن هذه النماذج.

لذلك فإن كل محاولات جعل بوزون هيجز مركبًا لم تكن مقنعة. بدا لمدة ما أننا نحن علماء النظريات قد نفد ما لدينا من خيارات. لو أن بوزون هيجز أولي، عندئذ كيف يمكن ترويض خواصه؟

إحدى طرق الحد من حرية جسيم ما هي ربط سلوكه بجسيم آخر يكون سلوكه مقيدًا. نعرف أن بوزونات وفرميونات القياس محفوظة، ولا تسلك كتلها بجموح. هل يمكن أن يكون هناك تماثل يربط هيجز بجسيم تكون كتلته محفوظة؟ لو استطعنا فعل ذلك، ربما يمكن ترويض جسيم هيجز في النهاية. التماثل الوحيد المعروف عنه أنه يفعل ذلك هو التماثل الفائق، لأن التماثل الفائق يربط الفرميونات بالبوزونات، ومن ثم، في نظرية التماثل الفائق سيكون هناك فرميون يرافق هيجز، يسمى هيجزينو Higgsino. (في تقليد نظرية التماثل الفائق ينتهي الشركاء الفائقون للبوزونات بـــ ino). ولأنه فرميون، سوف تكون كتلة هيجزينو محفوظة من كسب الوزن الكمي. حسنًا، يخبرنا التماثل الفائق أن للشريكين نفس الكتلة. لذلك يجب أن تكون كتلة هيجز محفوظة أيضًا.

لعل الفكرة تفسر جيدًا سبب أن كتلة هيجز منخفضة مقارنة بكتلة بلانك.

كما تم ذكره، تعتبر هذه الفكرة أنيقة بالتأكيد – لكنها معقدة في الممارسة.

أولاً، لا يمكن لأية نظرية أن تكون فائقة التناسق بشكل جزئي. لو أن لجسيم واحد شريكا فائقا، يجب أن تكون كلها كذلك. هكذا، يأتي كل كوارك بشريك بوزوني، سكوارك squark. الفوتون يكون شريكًا لفرميون جديد، هو الفوتينو. يتم تعديل التفاعلات من ثم بحيث لو أنه تم استبدال كل الكواركات بسكواركات في نفس وقت استبدالنا لكل الفوتونات بجسيمات فوتينو، لا تتغير احتمالات النتائج الممكنة المختلفة.

بالطبع، هناك احتمال أكثر بساطة. ألا يمكن لجسيمين رصدناهما بالفعل أن يكونا شريكين؟ هل قد يتشارك الفوتون والنيوترينو؟ أو الهيجز والإلكترون؟ سيكون اكتشاف علاقة بين الجسيمات المعروفة أنيقة بالتأكيد – ومقنعة.

لسوء الحظ، لم يفترض أحد مطلقًا بشكل ناجح ترابط تماثل فائق بين جسيمين معروفين. بدلاً عن ذلك، في كل نظريات التماثل الفائق يتضاعف عدد الجسيمات على الأقل. تم اقتراح شريك فائق جديد ببساطة ليشارك كل جسيم معروف. ليس فقط أن هناك كواركات وسليبتونات sleptons وجسيمات فوتينو، يوجد أيضًا جسيمات سنيترينو لتشارك جسيمات النيوترينو، وجسيمات هيجزينو لتشارك جسيمات هيجز، وجسيمات جرافيتينو gravitinos لتشارك جسيمات جرافيتون. اثنين مع اثنين، سفينة نوح الجسيمات. عاجلاً أم آجلاً، سيكون هناك تشابك في شبكة سنيمس (أسماء مع س في بداية الكلمة – المترجم) ونيمينوس جديدة، وتبدأ في الشعور مثل المهرج سبوزو. أو بوزو الكلاونينو (المهرج مع ino في بداية الكلمة). أو سواتيفر (أيًا كان مع س في بداية الكلمة – المترجم).

سواء للأفضل أو الأسوأ، لا تشبه الطبيعة ذلك. وكما تمت ملاحظته، لم ينتج عن أي تجربة مطلقًا دليلاً على وجود السلكترون. ويبدو، حتى الآن، أنه ليس هناك جسيمات سكواركات، ولا سليتونات ولا سنيترونات. يحتوي العالم على عدد هائل من الفوتونات (أكثر من مليار لكل بروتون)، لكن أحدًا لم ير مطلقًا فوتينو واحدا.

حل ذلك هو افتراض أن التماثل الفائق يتم تحطيمه تلقائيًا. لقد ناقشنا في الفصل ٤ كيف يتم تحطيم التماثل تلقائيًا. يمكن مد هذا التحطم التلقائي إلى التماثل الفائق. يمكن إنشاء نظريات تصف عوالم تكون فيها القوى في تماثل فائق لكن يتم فيها تعديل قوانينها بذكاء بحيث لا تكون حالة الطاقة الأكثر انخفاضًا – أي الحالة التي يختفي فيها التماثل – فائقة التماثل. نتيجة لذلك، لا يحتاج الشريك فائق التماثل لجسيم ما أن تكون له نفس كتلة الجسيم.

يعزز ذلك نظرية شنيعة. لتحطيم التماثل، يظل علينا إضافة المزيد من الجسيمات، مثل جسيمات هيجز. وتحتاج أيضًا إلى شركاء فائقين. يظل هناك المزيد من الثوابت الحرة، التي يمكن تعديلها لوصف خواصها. كل ثوابت النظرية من ثم يجب تعديلها بحيث تكون كل هذه الجسيمات الجديدة بالغة الثقل بحيث لا يمكن رصدها.

بعمل ذلك في النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات الأولية، بدون أية افتراضات إضافية، يُطلق على النتائج في بدعة ما النموذج المعياري فائق التماثل الأدنى، أو MSSM. وكما تم ذكره في الفصل ١ يوجد في النموذج

المعياري الأصلي نحو ٢٠ ثابتا حرا علينا تعديلها يدويًا للحصول على تنبؤات تتفق مع لتجربة. يضيف MSSM عدد ١٠٥ ثوابت حرة إضافية. وعلماء النظريات أحرار في تعديلها كلها لضمان أن النظرية تتفق مع التجارب. لو أن هذه النظرية صحيحة، عندئذ سيكون الرب شخصا تقنيا. سيكون نوعا من الرجال أو البنات يشبه نظامًا موسيقيًا بأكثر ما يمكن من مؤشرات أو قارب شراعي له ١٦ حبلاً لضبط شكل كل شراع.

بالطبع قد تشبه الطبيعة ذلك. للنظرية قدرة على حل مشكلة التعديل الدقيق. لذلك فإن ما تحصل عليه بزيادة عدد المؤشرات من ٢٠ إلى ١٢٥ أن لا مؤشر من المؤشرات الجديدة سيتم تعديله بدقة مثل المؤشرات القديمة. ويظل، مع كثرة المؤشرات هذه التي يجب ضبطها، أنه من الصعب بالنسبة لعلماء التجارب إثبات النظرية أو نفيها.

هناك الكثير من أوضاع المؤشرات التي يتحطم بسببها التماثل الفائق ولكل جسيم كتلة مختلفة عن كتلة شريكه الفائق. لإخفاء كل الأنصاف الأفضل المفتقدة، علينا تعديل المؤشرات بطريقة تجعل أمر الجسيمات المفتقدة كلها ينتهي إلى كمية كتلة إضافية أكثر من تلك التي نراها. عليك الحصول على ذلك بشكل صحيح، لأنه لو كانت النظرية قد تنبأت بأن السكواركات أخف من الكواركات سنقع في مشكلة. لا تقلق. يتضح أن هناك الكثير من الطرق المختلفة لتعديل المؤشرات لضمان أن كل الجسيمات التي لا نراها بالغة الثقل بحيث تظل غير قابلة للرؤية.

لو أنه كان من المطلوب تفسير التعديل الدقيق، عندئذ يجب أن تعطي النظرية تفسيرًا لسبب أن لبوزون هيجز كتلة كبيرة نظن أنها له. كما تمت ملاحظته، ليس هناك تنبؤ مضبوط لكتلة هيجز حتى في النموذج المعياري، لكنها يجب أن تكون أكثر من ١٢٠ مرة من كتلة أي بروتون. للتنبؤ بذلك، يجب تعديل نظرية التماثل الفائق بحيث يكون التماثل الفائق عند هذا المقاس هو الذي تم استرجاعه. هذا يعني أن الشركاء الفائقين المفقودين يجب أن يكون لهم كتل عند هذا المقياس تقريبًا، وإذا كان الأمر كذلك، يجب على مصادم الهدرونات LHC أن يراهم.

الكثير من علماء النظريات يتوقعون أن هذا ما سيراه LHC – الكثير من الجسيمات الجديدة التي يمكن تفسيرها باعتبارها الشركاء الفائقين المفقودين. لو فعل LHC ذلك، سيكون بالتأكيد نصرًا للسنوات الثلاثين الأخيرة من الفيزياء النظرية. ومع ذلك، أذكرك بأنه لا يوجد تنبؤات واضحة. حتى لو أن النموذج MSSM صحيح، هناك الكثير من الطرق المختلفة لتعديل ثوابته الـ ١٢٥ لكي تتفق مع ما هو معروف في الحاضر. يؤدي ذلك على الأقل إلى ما يقرب من عشرة سيناريوهات متميزة، والتي تقدم تنبؤات مختلفة تمامًا حول ما سيراه مصادم LHC بالضبط.

هناك المزيد من حالات القلق. افترض أن LHC ينتج جسيمًا جديدًا. إذا عرفنا أن نظرية التماثل الفائق تأتي على هيئة سيناريوهات كثيرة مختلفة، من الممكن أنه حتى لو كان التماثل الفائق خطأ، قد يستمر معدلاً بحيث يتفق مع أول الملاحظات من LHC. لإثبات التماثل الفائق، هناك حاجة لما هو

أكثر بكثير. علينا اكتشاف الكثير من الجسيمات الجديدة وتفسيرها. ولن تكون كلها شركاء فائقين للجسيمات التي نعرفها. قد يكون جسيم جديد شريكا فائقا لآخر لا يزال جسيمًا جديدًا، لا يزال غير مرئي.

الطريقة الوحيدة غير الخالية من الأخطاء لإثبات أن التماثل الفائق صحيح سيكون عليها توضيح أن هناك بالفعل تماثلا – أي إن احتمالات نتائج مختلفة ممكنة للتجارب لا تتغير (أو تتغير بطرق معينة مقيدة جدًا) عندما نستبدل جسيما واحدا بشريكه الفائق. لكن ذلك أمر لن يكون سهلاً بالنسبة لـ LHC، على الأقل في أول الأمر. لذلك حتى في أفضل الظروف، سنيكون قد مر الكثير جدًا من السنوات قبل أن نعرف ما إذا كان التماثل الفائق هو التفسير الصحيح لمشكلة التعديل الدقيق.

خلال ذلك، ظهر الكثير جدًا من علماء النظريات الذين يؤمنون بالتماثل الفائق. وهناك بضعة أسئلة جيدة للتفكير بأنه تحسين على الأفكار القديمة للتوحيد. أولاً، لا يبدو أن بوزون هيجز، إذا لم يكن شبه نقطة، كبير جدًا. هذا الامتياز يدعم التماثل الفائق بينما يستثني بعض (رغم ذلك ليس كل) نظريات التكنيكلر. هناك أيضًا دليل يأتي من فكرة التوحيد الكبير. كما ناقشنا من قبل، التجارب التي أُجريت على مقياس التوحيد لا تستطيع التمييز بين الكهرومغناطيسية والقوى النووية. يتنبأ النموذج المعياري بهذا النوع من المقياس الموحد لكنه يتطلب القليل من التعديلات. ونوع التماثل الفائق يعطي التوحيد بشكل مباشر أكثر.

التماثل الفائق هو بالتأكيد فكرة نظرية مثيرة للاهتمام إلى حد كبير. فكرة توحيد قوى ومادة تقدم تحليلاً لأعمق ازدواجية في الفيزياء الأساسية. ولا عجب أن الكثير جدًا من علماء النظرية يعجزون عن تخيل أن العالم ليس في تماثل فائق.

في نفس الوقت، يقلق بعض علماء الفيزياء من أن التماثل الفائق، لو كان صحيحًا، لا بد أن تتم رؤيته بالفعل في التجربة. وفي ما يلي مقتطف نموذجي تمامًا، من مقدمة لبحث حديث: "مشكلة أخرى تأتي من حقيقة أن LEP II (مسارع إلكترون - بوزترون الكبير، وهو في سيرن أيضًا) لم يكتشف أي جسيمات فائقة أو بوزون هيجز"[١]. كتب لي بول فرامبتون Paul Frampton، عالم النظريات المشهور في جامعة نورث كارولينا، أن،

إحدى الملاحظات العامة التي قابلتني خلال العقد الماضي أو أكثر من ذلك هي أن أغلب الباحثين (هناك بضعة استثناءات) الذين يعملون على فينومينولوجيا مقياس التيرا إلكترون فولت لتحطيم التماثل الفائق يرون أن احتمال التماثل الفائق على مقياس التيرا إلكترون فولت سوف يتضح في التجارب أنه أقل بكثير من ٥٠ في المائة، على اعتبار أن ٥ في المائة مثالي تمامًا[٢].

تخميني الخاص، حول ما فيه جدوى، أن التماثل الفائق (على الأقل على هيئته التي تتم دراستها حتى الآن) لن يفسر الملاحظات في LHC. وعلى أي حال، يمكن حسم التماثل الفائق بالتجربة، وأيًا ما كان تفضيلنا الجمالي، سنكون جميعًا مبتهجين بأن نحصل على إجابة عن سؤال ما إذا كان أو لم يكن صورة حقيقية للطبيعة.

لكن حتى لو تم رصد التماثل الفائق، لن يكون في حد ذاته حلاً لأي من المشاكل الخمس الكبيرة التي ذكرتها في الفصل ١. لن يتم تفسير ثوابت النموذج المعياري، لأن للنموذج MSSM ثوابت حرة أكثر بكثير. الاختيارات الممكنة لنظرية الكم للجاذبية لن يتم التضييق عليها، لأن النظريات الرائدة تتسق كلها مع كون العالم في تماثل فائق. قد يكون أن المادة المظلمة مصنوعة من شركاء فائقين، لكننا نحتاج إلى إثبات ذلك مباشرة.

سبب هذا القصور الأكبر هو أنه بينما للنظريات فائقة التماثل تماثل أكثر بكثير، فإنها أكثر بساطة. هي في الحقيقة أكثر تعقيدًا بكثير من النظريات ذات التماثل الأقل. فهي لا تقلل من عدد الثوابت الحرة – وتزيد منها، إلى درجة كبيرة. وتفشل في توحيد أي شيئين نعرفهما بالفعل. قد يكون التماثل الفائق فاتنا تمامًا – فاتنا مثل توحيد ماكسويل للكهرباء والمغناطيسية– لو أنه كشف صفة مشتركة عميقة بين شيئين معروفين. لو اتضح أن الفوتون والإلكترون شريكان فائقان، مثلاً، أو حتى النيوترينو وهيجز، قد يكون الأمر غريبًا.

لكن ليس هذا هو ما تفعله أي من نظريات التماثل الفائق. وبدلاً عن ذلك، فإنها تفترض مجموعة كاملة جديدة من الجسيمات وتجعل كل جسيم متماثلا إما مع جسيم معروف أو جسيم آخر مجهول. هذا النوع من النجاح النظري بالغ السهولة. ابتكار عالم كامل جديد من المجهول ثم وضع نظرية بثوابت كثيرة – ثوابت يمكن تبديلها لإخفاء كل المادة الجديدة – لا يثير الإعجاب إلى حد كبير، حتى لو كان يتحدى الإنجاز التقني. إنه نوع من

التنظير لا يمكن أن يفشل، لأن أي عدم اتفاق مع البيانات الراهنة يمكن التخلص منه بتعديل بعض الثوابت. قد يفشل فقط عندما تواجهه التجربة.

بالطبع، لا يعني أي من ذلك أن التماثل الفائق ليس حقيقيًا. قد يكون كذلك، وإذا كان كذلك هناك فرصة في أنه سيتم اكتشافه في بضع سنوات قادمة، في LHC. لكن حقيقة أن التماثل الفائق لا يفعل كل ما نأمل فيه يوحي بأن أنصاره يجلسون وحدهم بلا عون، بعيدين عن الجذع الراسخ للعلم التجريبي. ربما هذا هو ثمن البحث عن إحداث ثقب، كما يقول أينشتاين، حيث الخشب رقيق.

٦

الجاذبية الكمية: تفرع الطريق

بينما كان أغلب علماء الفيزياء يتجاهلون الجاذبية، بدأ بضعة رجال شجعان في الثلاثينيات التفكير في التوفيق بينها وبين نظرية الكم سريعة التطور. لأكثر من نصف قرن، لم يكن هناك أكثر من بضعة رواد يعملون على الجاذبية الكمية، ولم يكن ينتبه إليهم سوى قلة. لكن لا يمكن تجاهل مشكلة الجاذبية الكمية إلى الأبد. من المسائل الخمس التي طرحتها في الفصل الأول، فإنها تعتبر المسألة التي لا يمكن الاستمرار في عدم حلها. في ما لا يشبه المسائل الأخرى، فإنه لا تبحث سوى عن لغة كُتبت بها قوانين الطبيعة. محاولة حل أي من المسائل الأخرى بدون حل هذه المسألة قد يشبه محاولة التفاوض حول عقد في بلد بدون قانون.

البحث عن الجاذبية الكمية رحلة بحث حقيقية. كان الرواد يستكشفون في مشهد جديد من الأفكار والعوالم الممكنة. والآن هناك المزيد منا، وبعض من المشهد تم رسم خريطة له بشكل جيد. تم استكشاف بعض الآثار ولم تؤد سوى إلى طرق مسدودة. وبينما ظل البعض منطلقًا بسرعة وباستمرار بل وأصبح البعض مزدحمًا، مع ذلك لا يمكننا القول بأن المشكلة قد تم حلها.

أغلب هذا الكتاب تمت كتابته في ٢٠٠٥، بعد مائة سنة من أول إنجازات أينشتاين العظيمة. كان العام مملوءًا بالمؤتمرات والأحداث التي تحتفل بالذكرى السنوية. وكان هذا مبررا جيدا مثل أي مبرر لجذب الاهتمام إلى الفيزياء، لكن هذا لم يحدث بدون سخرية. بعض من اكتشافات أينشتاين كانت جذرية إلى حد أنه لا يتم تقديرها الآن فضلاً عن ذلك بشكل كاف بواسطة الكثير من علماء الفيزياء النظرية، والأكثر أهمية من بينها هو الفهم الذي توصل إليه في ما يخص المكان والزمن في النسبية العامة.

الدرس الأساسي في النسبية العامة هو أن هندسة المكان ليست ثابتة. لقد تطورت بشكل ديناميكي، وتتغير مع الزمن عندما تتحرك المادة هنا وهناك. بل هناك حتى موجات – موجات جاذبية – تنتقل خلال هندسة المكان. حتى أينشتاين، كان يتم النظر إلى هندسة إقليدس التي يتم تعليمها في المدرسة على أنها قوانين أبدية: كان من الصحيح دائمًا وسيظل صحيحا دائمًا أن زوايا المثلث مجموعها ١٨٠ درجة. لكن في النسبية العامة يمكن أن يكون مجموع زوايا المثلث أي قيمة، لأن هندسة المكان يمكن أن تنحني.

هذا لا يعني أنه كانت هناك هندسة أخرى ثابتة يتصف بها المكان – أن المكان يشبه كرة، أو سرجا، بدلاً من السطح المستوى. الفكرة أنه يمكن أن تكون الهندسة أي شيء على أي حال، لأنها تتطور في الزمن، مستجيبة للمادة والقوة. وأكثر من أن يكون هناك قانون يحدد ماهية الهندسة، هناك قانون يحكم كيفية تغير الهندسة – تمامًا كما لا تخبرنا قوانين نيوتن عن مكان وجود الأشياء ولكن كيفية تحركها، بأن تحدد تأثيرات القوة على حركتها.

قبل أينشتاين، كان يُظن أن الهندسة جزء من القوانين. أظهر أينشتاين أن هندسة المكان تتطور مع الزمن، تبعًا لقوانين أخرى أكثر عمقًا.

من المهم استيعاب هذه الكرة بشكل كامل. هندسة المكان ليست جزءًا من قوانين الطبيعة. ليس هناك من ثم في هذه القوانين ما يحدد ماهية هندسة المكان. وبذلك، قبل حل معادلات نظرية النسبية العامة لأينشتاين، لا يكون لديك أية فكرة حول ماهية هندسة المكان. تصل إلى ذلك فقط بعد حل المعادلات.

هذا يعني أن قوانين الطبيعة يجب التعبير عنها في شكل لا يفترض أن المكان له أية هندسة ثابتة. هذا هو قلب درس أينشتاين. نلخص ذلك في مبدأ قدمناه سابقًا، وهو استقلال الخلفية. يقول المبدأ إن قوانين الطبيعة يمكن تعيينها بشكل كامل بدون وضع أي افتراضات مسبقة حول هندسة المكان. في الصورة القديمة، حيث كانت الهندسة ثابتة، يمكن التفكير فيها باعتبارها جزءا من الخلفية، المسرح الذي لا يتغير الذي يتم عليه عرض الطبيعة. القول بأن قوانين الفيزياء خلفية-مستقلة يعني أن هندسة المكان ليست ثابتة لكنها تتطور. ينبثق المكان والزمن من القوانين أكثر من كونهما يتيحان مضمارًا تحدث فيه الأمور.

الجانب الآخر لاستقلال الخلفية هو عدم وجود زمن مفضل. تصف النسبية العامة تاريخ العالم بشكل أساسي أكثر بمصطلحات الأحداث والعلاقات بينها. ترتبط العلاقات الأساسية بالسببية، قد يكون حادث ما في

سلسلة الأسباب التي تؤدي إلى حادث آخر. من وجهة النظر هذه، يعتبر المكان مفهوما ثانويا. مفهوم المكان يعتمد في الحقيقة بالكامل على مفهوم الزمن. إذا نظرنا إلى ساعة، يمكننا التفكير في كل الأحداث التي تتزامن مع ساعة الظُهر المدهشة. يشكل ذلك المكان.

الجانب المهم من نظرية النسبية العامة هو عدم وجود طريقة مفضلة للمحافظة على الزمن. أي نوع من الساعات سيفعل ذلك، ما دام يقدم الأسباب سابقة على التأثيرات. لكن لأن تعريف المكان يعتمد على الزمن، هناك الكثير من التعريفات المختلفة للمكان، كما أن هناك الكثير منها للزمن. لا ينطبق هذا على مفهوم شامل واحد للزمن ولكن على كل مفهوم ممكن للزمن. وكيفية نجاح كل هذا هو جزء من الجمال المتشابك لنظرية النسبية العامة لأينشتاين. بالنسبة لأهدافنا، سيكون من الكافي تذكر أن معادلات النظرية تخبرنا بكيفية تطور هندسة المكان في الزمن وليس فقط لتعريف واحد ولكن لأي تعريف ممكن للزمن.

بالفعل، يعني استقلال الخلفية أكثر من ذلك أيضًا. هناك جوانب أخرى للطبيعة ثابتة في التعبيرات العادية لقوانين الفيزياء. لكن ربما لا يجب أن تكون كذلك. فعلى سبيل المثال، حقيقة أن هناك فقط ثلاثة أبعاد للمكان هو جزء من الخلفية. هل يجب أن تكون هناك نظرية أعمق لا يكون علينا خلالها وضع أي افتراض مسبق حول عدد الأبعاد المكانية؟ في مثل هذه النظرية، قد تعتبر الأبعاد الثلاثة حلاً لبعض القوانين الديناميكية. ربما، في مثل هذه النظرية، يستطيع حتى عدد الأبعاد المكانية أن يتغير مع الزمن. لو

استطعنا ابتكار مثل هذه النظرية، قد تفسر لنا سبب أن كوننا له ثلاثة أبعاد. قد يشكل ذلك تقدمًا، حيث إن شيئًا ما كان يعتبر سابقًا مفترضا ببساطة قد يتم تفسيره في النهاية.

لذلك فإن فكرة استقلال الخلفية في مفهومها الأوسع هي قطعة من الحكمة حول كيفية تشكيل الفيزياء: تقديم نظريات أفضل حيث الأشياء التي تعتبر الآن مفترضة يتم تفسيرها، بالسماح لهذه الأشياء بالتطور خضوعًا لبعض القوانين الجديدة.

السؤال المهم حول النظرية الكمية للجاذبية يكون عندئذ كما يلي: هل يمكننا أن نمد إلى نظرية الكم مبدأ أن المكان ليس له هندسة ثابتة؟ أي، هل يمكننا جعل نظرية الكم مستقلة عن الخلفية، على الأقل بالنسبة لهندسة المكان؟ لو استطعنا فعل ذلك، سوف ندمج تلقائيًا الجاذبية والنظرية الكمية، لأن الجاذبية يتم فهمها بالفعل باعتبارها جانبا من هندسة الزمكان الديناميكي.

هناك من ثم مقاربتان لدمج الجاذبية ونظرية الكم: تلك التي تحصل على استقلال عن الخلفية وتلك التي لا تحصل على ذلك. يتشعب مجال الجاذبية الكمي عبر هذه الأسطر طوال طريق العودة للثلاثينيات، رغم أن معظم المقاربات التي تتم دراستها اليوم تعتبر مستقلة عن الخلفية. الاستثناء الوحيد هو المقاربة التي يدرسها أغلب علماء الفيزياء اليوم – نظرية الأوتار.

كيف حدث أن كان الإنجاز الأعلى لأغلب العلماء المشهورين في القرن العشرين تم تجاهله افتراضيًا بواسطة أغلب أولئك الذين يصخبون

بأنهم من يتبعون خطاه، لهو واحد من أغرب قصص تاريخ العلم. لكنها قصة يجب أن نحكيها هنا، لأنها أساسية بالنسبة للأسئلة التي طرحتها في المقدمة. بالفعل، قد تندهش، إذا عرفنا أن نظرية النسبية العامة لأينشتاين مقبولة جدًا إلى هذا الحد، عن الدافع وراء محاولة أي شخص تقديم نظرية جديدة لا تأخذ بعين الاعتبار عقيدتها الأساسية. الإجابة قصة، ومثل كل القصص التي تُحكى في هذا الكتاب، قد تبدأ بأينشتاين.

سريعًا في ١٩١٦، أدرك أينشتاين أن هناك موجات جاذبية وأنها تحمل طاقة. لاحظ بشكل سليم أن الاتساق مع الفيزياء الذرية قد يتطلب أن تكون الطاقة التي تحملها الموجات الجاذبية قابلة للوصف بمصطلحات نظرية الكم. وفي نفس البحث الأول الذي لم يكتب مثله أبدًا عن موجات الجاذبية، قال أينشتاين "يظهر أن نظرية الكم ليس عليها فقط تعديل نظرية ماكسويل للديناميكا الكهربائية، ولكن أيضًا النظرية الجديدة للجاذبية"[1].

رغم ذلك، بينما كان أينشتاين هو أول من يعلن عن الجاذبية الكمية، تم تجاهل تبصره الأعمق بواسطة أغلب أولئك الذين عملوا منذ ذلك الحين على هذا الموضوع. كيف حدث ذلك؟

هناك سبب، وهو أنه لم يكن أحد يعرف في ذلك الوقت كيفية السير مباشرة وتطبيق النظرية الكمية التي كانت في دور التطوير حينئذ على النسبية العامة. وبدلاً عن ذلك، اتضح أن التقدم ممكن بطريق غير مباشر. أولئك الذين رغبوا في تطبيق ميكانيكا الكم على النسبية العامة واجههم تحديان. بجانب الاستقلال عن الخلفية، كان عليهم الصراع مع حقيقة أن

النسبية العامة هي نظرية مجال. هناك عدد لانهائي من الاحتمالات لهندسة المكان، ومن ثم عدد لانهائي من المتغيرات.

كما ذكرت في الفصل ٤، بمجرد أن تمت صياغة ميكانيكا الكم بشكل كامل، بدأ علماء الفيزياء تطبيقها على نظريات المجال، مثل المجال الكهرومغناطيسي. تمت صياغتها في خلفية زمكان ثابت، لذلك لم تظهر قضية الاستقلال عن الخلفية. لكنها أتاحت لعلماء الفيزياء خبرة بالتعامل مع مشكلة عدد لانهائي من المتغيرات.

كان أول نجاح كبير لنظرية المجال الكمي هو الديناميكا الكهربائية QED، توحيد نظرية ماكسويل عن الكهرومغناطيسية مع نظرية الكم. من الجدير بالملاحظة أن أول بحث لهما عن QED، في ١٩٢٩، كان فرنر هيزنبرج وولفجانج باولي، اثنان من مؤسسي ميكانيكا الكم، يتمعنان بالفعل في التوسع في عملهما حول الجاذبية الكمية. من الواضح أنهما شعرا بأن الأمر لن يكون بالغ الصعوبة، لأنهما كتبا أن "تكميم مجال الجاذبية، وهو ما يبدو ضروريًا لأسباب فيزيائية، قد يتم إنجازه بدون أي صعوبات بواسطة شكلية مشابهة تمامًا لتلك التي تم تطبيقها هنا"(٢).

بعد أكثر من خمسة وسبعين عامًا، يمكننا فقط التعجب من مدى استخفاف مثل هذين الشخصين الرائعين بصعوبة المشكلة. ما الذي كانا يفكران فيه؟ حسنًا، أنا أعرف، لأن الكثير من الأشخاص كان لديهم نفس التفكير منذ ذلك الوقت، وتم بدقة وإحكام استكشاف الطريق المسدود الذي يؤدي إليه هذا التفكير.

ما كان يفكر فيه هيزنبرج وباولي هو أنه عندما تكون موجات الجاذبية ضعيفة جدًا، يمكن اعتبارها تموجات بالغة الصغر تحدث اضطرابًا في هندسة ثابتة. لو أنك أسقطت حجرًا في بحيرة فى صباح ساكن، ستحدث تموجات صغيرة تكاد تحدث اضطرابًا في السطح المستوى للماء، لذلك من السهل الظن بأن التموجات تتحرك على خلفية ثابتة يتيحها السطح. لكن عندما تكون موجات الماء قوية وهائجة، كما هو الحال بالقرب من ساحل في يوم عاصف، لا معنى لاعتبارها اضطرابات في شيء ما ساكن.

تتنبأ النسبية العامة بأن هناك مناطق في الكون حيث تتطور هندسة الزمكان بشكل مضطرب، مثل أمواج تتكسر على الشاطئ. لكن هيزنبرج وباولي ظنا بأنه قد يكون من الأكثر بساطة أن يدرسا أولاً حالات تكون خلالها موجات الجاذبية ضعيفة إلى أقصى حد ويمكن اعتبارها تموجات بالغة الصغر على خلفية ثابتة. وأتاح لهما ذلك تطبيق نفس الطرق التي كانا قد طورا من خلالها دراسة المجالات الكهرومغناطيسية الكمية التي تتحرك على خلفية زمكان ثابتة. وفي الحقيقة لم يكن من الصعب تطبيق ميكانيكا الكم على موجات جاذبية ضعيفة جدًا تتحرك بحرية. كانت النتيجة أن كل موجة جاذبية يمكن رؤيتها بشكل ميكانيكي كمي، باعتبارها جسيما يسمى جرافيتون graviton – في ما يشبه الفوتون، وهو كم المجال الكهرومغناطيسي. لكن عند الخطوة التالية، واجها مشكلة كبيرة، لأن موجات الجاذبية تتفاعل مع بعضها البعض. تتفاعل مع أي شيء له طاقة، وهي نفسها تحمل طاقة. هذه المشكلة لا تحدث مع الموجات الكهرومغناطيسية، لأنه رغم تفاعل الفوتونات

مع الشحنات الكهربائية والمغناطيسية، فإنها هي نفسها ليست مشحونة، لذلك تتحرك مباشرة خلال بعضها البعض. هذا الاختلاف المهم بين نوعي الموجات هو ما أساء فهمه هيزنبرج وباولي.

اتضح أن وصف التفاعل الذاتي لجسيمات الجرافيتون بشكل متسق مشكلة يصعب حلها. ونفهم الآن أن الفشل في حل هذه المشكلة هو نتيجة عدم أخذ مبدأ أينشتاين لاستقلال الخلفية بشكل جاد. بمجرد تفاعل موجات الجاذبية مع بعضها البعض، لا يستمر النظر إليها باعتبارها تتحرك على خلفية ثابتة. إنها تغير الخلفية وهي تتنقل.

قلة من الأشخاص هم الذين فهموا ذلك بالفعل في الثلاثينيات. ربما أول رسالة حصول على دكتوراه فلسفة تمت كتابتها على الإطلاق عن مشكلة الجاذبية الكمية كانت أطروحة عالم الفيزياء الروسي ماتفي بيتروفيتش برونشتاين Matvei Petrovich Bronstein. أولئك الذين يذكرونه يعتبرونه واحدًا من اثنين هما الأكثر عظمة من بين علماء الفيزياء الروس في جيله. كتب في بحث ١٩٣٦ أن "التخلص من حالات عدم الاتساق المنطقي [يتطلب] رفض مفاهيمنا العادية عن المكان والزمن، بتعديلها ببعض المفاهيم الغامضة الأكثر عمقًا". ثم اقتطف عندئذ قولاً ألمانيًا مأثورًا، "دع الذي يشك فيه يدفع تالر (عملة جرمانية – المترجم)"[٣]. تم الدفاع عن وجهة نظر برونشتاين بوساطة عالم فيزياء شاب فرنسي لامع، هو جاك سولومون Jacques Solomon.

في الوقت الحالي يتفق كل شخص تقريبًا يفكر بشكل جاد في الجاذبية الكمية مع برونشتاين، لكن الأمر استغرق سبعين عامًا. أحد الأسباب أنه حتى تلك العقول اللامعة مثل برونشتاين وسولومون لم يكن في استطاعتها الهروب من حماقة زمنها. بعد عام من كتابة برونشتاين لبحثه الذي اقتطفت منه على التو، قبضت عليه المفوضية الشعبية الروسية للشؤون الداخلية NKVD، وتم إعدامه بكتيبة إعدام في ١٨ فبراير ١٩٣٨. أصبح سولومون عضوًا في المقاومة الفرنسية وقتله الألمان في ٢٣ مايو ١٩٤٢. فقد التاريخ أفكارهما. ولقد عملت على مسألة الجاذبية الكمية طوال حياتي وعلمت بهما فقط، بينما كنت أنتهي من هذا الكتاب.

تم نسيان أعمال برونشتاين، وعاد أغلب علماء الفيزياء إلى دراسة نظرية المجال الكمي. كما ذكرت في الفصل ٤، احتاج الأمر حتى أواخر الأربعينيات لتطوير QED. وهذا النجاح ألهم عندئذ بضعة أشخاص لأن يواجهوا من جديد تحدي توحيد الجاذبية والنظرية الكمية. فورًا، ظهر معسكران متعارضان. أحدهما اتبع برونشتاين بأخذ الاستقلال عن الخلفية في النسبية العامة بشكل جاد. وتجاهل الآخر الاستقلال عن الخلفية واتبع طريق هينزنرج وباولي في مجهوداتهما لتطبيق النظرية الكمية على موجات الجاذبية التي تُرى على أنها تتحرك على خلفية ثابتة.

وحيث إن الاستقلال عن الخلفية هو أحد مبادئ النسبية العامة، قد يبدو من المعقول دمجه في محاولات توحيد هذه النظرية مع نظرية الكم. لكن كما اتضح، لم تكن الأمور بهذه البساطة. بضعة أشخاص – مثل عالم الفيزياء

البريطاني ب. أ. م. ديراك P. A. M. Dirac، وبيتر برجمان Peter Bergmann، الألماني الذي كان قد بدأ مهنته مساعدا لأينشتاين في برينستون– قاما بمحاولة لإنشاء نظرية مستقلة عن الخلفية للجاذبية الكمية. ووجدا أنها مهمة عسيرة. لم تعط مثل هذه المحاولات ثمارًا حتى منتصف الثمانينيات، لكن منذ ذلك الحين كان هناك كمية كبيرة من التقدم في فهم الجاذبية الكمية من وجهة نظر الاستقلال عن الخلفية. أغلب علماء نظرية الجاذبية الكمية يعملون الآن على إحدى المقاربات المتعددة المستقلة عن الخلفية. سوف نعود إليها لاحقًا في الكتاب، لأنها تشكل البدائل الأكثر أهمية لنظرية الأوتار.

لكن لم يكن أي من هذه الإشارات الواعدة واضحًا عندما بدأ أشخاص عبر طريق الجاذبية الكمية في الخمسينيات. بدا التقدم المحدود الذي أنتجته طرق الاستقلال عن الخلفية سقيمًا، مقارنة بالخطى الواسعة العظيمة التي تم إنجازها في QED. لذلك حتى أواخر الثمانينيات، اتخذ أغلب الأشخاص الطريق الآخر، وهو محاولة تطبيق طرق QED على النسبية العامة. ربما كان ذلك مقبولاً. بعد صياغة QED، عرف الناس الكثير حول النظريات الكمية المعتمدة على الخلفية، لكن أحدًا لم يعرف أي شيء حول ما قد تبدو عليه نظرية كمية مستقلة عن الخلفية، لو كانت موجودة على أي حال.

حيث إن ذلك كان الطريق المؤدي إلى نظرية الأوتار، من المجدي تتبعه ثانية. لأن الأعمال من الثلاثينيات تم نسيانها، كان لا بد من إعادة اكتشافها. تم إنجاز نظرية جسيمات الجرافيتون من جديد في رسالة دكتوراه

فلسفة لبرايس دوويت Bryce DeWitt، الذي كان طالبًا في جوليان شوينجرس في هارفارد في أواخر الأربعينيات. ومن أجلها ومن أجل اكتشافاته الأخرى الكثيرة التي تلتها، ننظر إلى دوويت باعتباره أحد مؤسسي نظرية الجاذبية الكمية.

لكن، كما تمت ملاحظته، لم تكن نظرية الجرافيتون كافية. كانت نظرية الجرافيتون ممتازة ما دام كانت الجرافيتونات تتحرك خلال المكان، لكن لو كان هذا هو كل ما تفعله، لم تكن هناك جاذبية، وبالتأكيد لم تكن هناك هندسة ديناميكية أو منحنية. لذلك لم يكن هذا توحيدا للنسبية العامة أو الجاذبية مع النظرية الكمية، بل كان مجرد توحيد لموجات الجاذبية الضعيفة مع النظرية الكمية. وعادت إلى الظهور مشاكل نظرية الجرافيتونات في بداية الخمسينيات، بمجرد أن بدأ الناس يدرسون من جديد كيفية تفاعلها مع بعضها البعض. منذ ذلك الحين حتى أوائل الثمانينيات، تم التوسع في عدد كبير من الأعمال حول مشكلة التفاعل الذاتي هذه لحفظها من التناقض مع مبادئ نظرية الكم. ولم ينجح أي من هذه الأعمال.

قد يكون من المفيد التوقف والتفكير في ما يعنيه هذا بمصطلحات إنسانية. نحن نتحدث عن ثلاثين عامًا من العمل الصعب المستمر، بما في ذلك الكثير من الحسابات المعقدة. تخيل أنك تجري حسابات ضريبة الدخل لديك كل يوم، طوال الأيام، لمدة أسبوع، وتظل تحصل على حسابات يجب إضافتها بشكل مترابط. لديك خطأ ما في مكان ما، لكنك لا تستطيع العثور عليه. والآن تخيل قضاء شهر بهذا الشكل. هل يمكنك مد ذلك إلى عام؟

والآن تخيل عشرين عامًا. والآن تخيل أن هناك ما يقرب من عشرين شخصًا حول العالم يقضون وقتهم بهذا الشكل. بعضهم أصدقاء، والبعض متنافسون. لديهم جميعًا مخططاتهم الخاصة حول كيفية جعل العمل ناجحًا. كل مخطط فشل حتى الآن، لكن لو كان عليك تجريب مقاربة مختلفة قليلاً، أو مجموعة من مقاربتين، ربما قد تنجح. مرة أو مرتان في العام، تذهب إلى مؤتمر دولي، حيث يمكنك تقديم مخططك الجديد للمتعصبين الآخرين. كان هذا هو مجال الجاذبية الكمية قبل ١٩٨٤.

كان رتشارد فينمان أحد الأوائل الذين عالجوا مشكلة الجرافيتون هذه. ولم لا؟ كان قد أنجز عملاً ممتازًا في QED، فلماذا لا يطبق نفس الطرق على الجاذبية الكمية؟ لذلك قضى في بداية الستينيات بضعة أشهر خارج فيزياء الجسيمات ليرى إن كان في استطاعته تكميم الجاذبية. لإعطائك فكرة عن حالة الركود التي كانت تعاني منها الجاذبية الكمية حينئذ، هذا هو خطاب لفينمان كتبه لزوجته في ١٩٦٢ حول مقابلة في وارسو، حيث كان يقدم أعماله:

> لم أحصل على شيء من اللقاء. ولم أتعلم شيئًا. لأنه لم تكن هناك تجارب، وهذا المجال ليس مجالاً نشيطًا، لذلك فإن قلة من أفضل الرجال ينجزون أعمالاً فيه. النتيجة وجود تكهنات جمة هنا... وليس هذا جيد لضغط الدم لديّ. ذكرني بألا أذهب إلى المزيد من مؤتمرات الجاذبية![٤]

ورغم ذلك، أنجز تقدمًا طيبًا وأوضح إلى حد كبير قضية تقنية لها علاقة بالاحتمالات، ألا وهي الأعداد بين صفر و١. أي شيء يكون من

المؤكد حدوثه يُقال إنه له احتمال ١، لذلك فإن احتمال أن يحدث شيء ما على أي حال هو ١. قبل إنجاز فينمان لهذا العمل، لم يستطع أي شخص أن يجعل احتمالات الأشياء المختلفة التي تحدث في الجاذبية الكمية تصل إلى ١. بالفعل، فينمان جعل الاحتمالات تبلغ مجموعًا متوقعًا فقط في المستوى الأول للتقريب، وبعد عدة سنوات، اكتشف برايس دوويت كيفية عمل ذلك عند كل المستويات. وبعد عام أو ما يقرب من ذلك، تم اكتشاف نفس الشيء بواسطة روسيان، لودفيج دميتريفيتش فاديف Ludwig Dmitrievich Fadeev وفكتور نيكولافيتش بوبوف Victor Nicolaevich Popov. لم يكونا قد عرفا عمل دوويت، لأن المجلة كانت قد أرسلت بحثه إلى خبير للمراجعة واستغرق الناقد أكثر من عام للانتهاء منه. لذلك، تدريجيًا، حل الناس بعض المشاكل – لكن حتى لو أنه تم جعل الاحتمالات تصل إلى ١، لم تنجح نظرية الجرافيتون في مجملها.

كان هناك بعض الفوائد الجانبية لهذا العمل. يمكن تطبيق نفس الطريقة على نظريات يانج–ميلز التي كان النموذج المعياري يقوم عليها. لذلك وقت كان ستيفن وينبرج وعبد السلام يستخدمان هذه النظريات لتوحيد التفاعلات الضعيفة والكهرومغناطيسية، كانت التقنية متوافرة لإجراء حسابات حقيقية. اتضح أن النتائج أفضل من الجاذبية الكمية. وكما أثبت أخيرًا عالم النظريات الهولندي جيرارد تهوفت في ١٩٧١، أن نظريات يانج– ميلز كانت تتلقى تقديرًا كاملاً باعتبارها نظريات كمية. بالفعل، مثل الآخرين قبله، كان تهوفت يدرس نظرية يانج –ميلز جزئيًا باعتبارها تجهيزًا للهجوم على مشكلة

الجاذبية الكمية. لذلك فإن العمل ثلاثون عامًا على الجاذبية الكمية لم يكن إضاعة للجهد بشكل كامل، على الأقل جعلنا نستطيع جعل فيزياء الجسيمات تلقى التقدير.

لكن لم تكن هناك جاذبية كمية منقذة. جرب الناس كل أنواع طرق التقريب. منذ تلقى النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات نجاحًا، تم تطوير الكثير من الطرق لسبر أغوار السمات المختلفة له. طريقة تلو الأخرى، تمت تجربة كل منها على مشكلة الجاذبية الكمية. وكل منها فشل. لا يهم كيفية تنظيمك للنظرية الكمية لموجات الجاذبية، ما دام تضع في اعتبارك أنها تتفاعل مع بعضها البعض، وتطل برأسها كميات لا نهائية. لا يهم كيف تتدبر أمر المشكلة، حيث لا يمكن ترويض اللانهائيات. مع المزيد من سنوات العمل، والمزيد من الأبحاث، والمزيد من رسائل الدكتوراه، والمزيد من العروض في المؤتمرات. نصل إلى نفس الموقف. الحد الأدنى هو أنه كان من الواضح في ١٩٧٤ أن مقاربة الاعتماد على الخلفية في الجمع بين النسبية العامة ونظرية الكم لم ينجح.

مع ذلك، كان هناك أمر واحد يمكن عمله مع طرق الاعتماد على الخلفية. أفضل من تجربة تكميم الجاذبية، وبذلك يتم فهم تأثير النظرية الكمية على موجات الجاذبية، يمكننا تحويل المشكلة والتساؤل حول تأثيرات الجاذبية على الظواهر الكمية. لعمل ذلك، يمكننا دراسة الجسيمات الكمية التي تنتقل في الزمكان حيث تكون الجاذبية مهمة، مثل الثقوب السوداء أو تمدد الكون. مع بدايتها في الستينيات، تم إحراز كثير من التقدم في هذا الاتجاه. إنه اتجاه

مهم، لأن بعض الاكتشافات أدت إلى ألغاز هدفت المقاربات اللاحقة، مثل نظرية الأوتار، إلى حلها.

أول نجاح كان تنبؤاً بأنه عندما يتغير المجال الجاذبي بسرعة مع الزمن، يمكن تخليق جسيمات أولية. يمكن تطبيق هذه الفكرة على الكون المبكر عندما كان يتمدد بسرعة، مما أدى إلى تنبؤات يتم استخدامها حتى هذا اليوم في دراسة الكون المبكر.

أوحى نجاح هذه الحسابات إلى بعض من علماء الفيزياء بتجربة شيء أكثر صعوبة، وكان دراسة تأثير ثقب أسود على جسيمات ومجالات كمية. التحدي هنا هو أنه أينما يكون للثقوب السوداء منطقة تتطور خلالها الهندسة بسرعة كبيرة، يتم إخفاء هذه المنطقة خلف الأفق. الأفق هو صفيحة ضوء ساكنة. وهي تمثل حدود منطقة يتم جذب كل الضوء خلالها إلى الداخل، نحو مركز الثقب الأسود. بذلك لا يمكن لأي ضوء أن يهرب إلى خلف هذا الأفق. من الخارج، يبدو أي ثقب أسود استاتيكيًا، لكن فقط داخل أفقه منطقة حيث كل شيء يتم جذبه نحو مجالات جاذبة أشد فأشد. وينتهي هذا إلى مفردة، حيث كل شيء لانهائي وحيث يتوقف الزمن.

أول نتيجة مهمة تربط بين النظرية الكمية والثقوب السوداء تم تقديمها في ١٩٧٣ بواسطة جاكوب بيكنشتاين Jacob Bekenstein، طالب إسرائيلي شاب متخرج فى جون أرشيبالد ويلرس في برنستون. توصل إلى اكتشاف مذهل بأن للثقوب السوداء إنتروبيا. والإنتروبيا هي مقياس للفوضى، وهناك

قانون مشهور، يسمى القانون الثاني للديناميكا الحرارية، يقول بأن إنتروبيا المنظومة المغلقة لا يمكن أبدًا أن ينخفض. وكان بيكنشتاين قلقًا من أنه لو أخذ صندوقًا مليئًا بالغاز الساخن – والذي يكون له كمية كبيرة من الإنتروبيا، لأن حركة جزيئات الغاز تكون عشوائية وفوضوية – ورماه في ثقب أسود، فإن إنتروبيا الكون تبدو كما لو أنها تنخفض، لأنه لا يمكن استعادة الغاز أبدًا. لإنقاذ القانون الثاني، اقترح بيكنشتاين أنه يجب على الثقب الأسود نفسه أن يكون له إنتروبيا، والتي تنخفض عندما يسقط فيها الصندوق الممتلئ بالغاز، بحيث لا تنخفض أبدًا الإنتروبيا الكلية للكون. بتقديم بعض الأمثلة البسيطة، استطاع توضيح أن إنتروبيا أي ثقب أسود يجب أن تتناسب مع مساحة الأفق الذي يحيط به.

قدم ذلك لغزًا. الإنتروبيا مقياس للعشوائية، والحركة العشوائية حرارة. لذلك ألا يجب أن يكون للثقب الأسود أيضًا درجة حرارة؟ بعد عام، في ١٩٧٤، كان في استطاعة ستيفن هاوكنج توضيح أنه يجب أن يكون لأي ثقب أسود بالفعل درجة حرارة. واستطاع أيضًا تحديد التناسب الدقيق بين مساحة أفق الثقب الأسود والإنتروبيا الخاصة به.

هناك جانب آخر لدرجة حرارة الثقوب السوداء التي تنبأ بها هاوكنج، والذي سيكون مهمًا لنا لاحقًا، وهو أن درجة حرارة أي ثقب أسود تتناسب عكسيًا مع كتلته. هذا يعني أن الثقوب السوداء تسلك بشكل مختلف عن الأجرام المألوفة. لجعل أغلب الأشياء تسخن، عليك وضع طاقة فيها. نحن

نزود النار بالوقود. تسلك الثقوب السوداء بالطريقة العكسية. لو أنك وضعت طاقة، أو كتلة، فيه، فإنك تجعل الثقب الأسود هائلاً – ويبرد(٥).

هذا اللغز تحد منذ ذلك الحين كل محاولة لصياغة نظرية كمية للجاذبية: كيف يمكننا تفسير إنتروبيا ودرجة حرارة الثقوب السوداء من المبادئ الأولى؟ عالج بيكنشتاين وهاوكنج الثقب الأسود باعتباره خلفية ثابتة تقليدية تتحرك فيها الجسيمات الكمية، وقامت حججهما على الاتساق مع القوانين المعروفة. لم يصفا الثقب الأسود كمنظومة ميكانيكية كمية، لأن هذا يمكن فعله فقط في النظرية الكمية للزمكان. لذلك فإن التحدي لأي نظرية كمية للجاذبية هو إعطاؤنا فهمًا أعمق لإنتروبيا بيكنشتاين ودرجة حرارة هاوكنج.

في العام التالي، عثر هاوكنج أيضًا على لغز آخر مندس في هذه النتائج. لأن للثقب الأسود درجة حرارة، سوف يشع، مثله مثل أي جسم ساخن. لكن الإشعاع يحمل طاقة بعيدًا من الثقب الأسود. إذا توافر ما يكفي من الوقت، فإن كل كتلة الثقب الأسود سوف تتحول إلى إشعاع. ومع فقده طاقة، يصبح الثقب الأسود أخف. وبسبب الخاصية التي ذكرتها توًا، عندما يفقد كتلة، يسخن، لذلك يشع أسرع فأسرع. في نهاية هذه العملية، سيشهد الثقب الأسود تقلصًا حتى كتلة بلانك، ونحتاج إلى نظرية كمية للجاذبية للتنبؤ بالمصير النهائي للثقب الأسود.

لكن أيًا كان مصيره النهائي، يبدو أن هناك لغزا يتعلق بمصير المعلومات. خلال حياة الثقب الأسود، سوف يجذب كمية هائلة من المادة،

ويحمل كميات هائلة من المعلومات الجوهرية. وفي النهاية، سيكون كل ما تبقى هو كمية كبيرة من الإشعاع الحار – والذي، لكونه عشوائيا، لا يحمل أية معلومات بالمرة – وثقب أسود بالغ الصغر. هل اختفت المعلومات فحسب؟

هذا لغز للجاذبية الكمية، لأن هناك قانونا في ميكانيكا الكم يقول إن المعلومات لا يمكن تدميرها أبدًا. والوصف الكمي للعالم من المتوقع أن يكون دقيقًا، وهناك نتيجة تتضمن أنه عندما يتم وضع كل التفاصيل في الحسبان، لا يمكن فقد أية معلومات. قدم هاوكنج دليلاً قويًا على أن الثقب الأسود الذي يتبخر يفقد معلومات. يبدو ذلك متناقضًا مع نظرية الكم، لذلك أطلق على هذا الدليل متناقضة معلومات الثقب الأسود. تحتاج أية نظرية كم مفترضة عن الجاذبية إلى حل هذا التناقض.

كانت اكتشافات السبعينيات هذه نقطة تحول في الطريق إلى نظرية كمية للجاذبية. ومنذ ذلك الحين، قمنا بقياس نجاح مقاربة إلى جاذبية كمية جزئيًا بمدى جودتها في الإجابة عن التحديات التي وضعتها الإنتروبيا، ودرجة الحرارة، وفقد المعلومات في الثقوب السوداء.

في نحو ذلك الوقت، تم أخيرًا اقتراح فكرة حول الجاذبية الكمية بدت ناجحة، على الأقل لوقت قصير. تضمنت تطبيق فكرة التماثل الفائق على الجاذبية. وكانت النتيجة الجاذبية الفائقة.

كنت حاضرًا في أحد العروض الأولى غير المسبوقة لهذه النظرية الجديدة. كان مؤتمرًا في ١٩٧٥ في سينسناتي حول التطورات في النسبية

العامة. كنت لا أزال طالبًا دون التخرج في هامبشاير كولدج، لكنني ذهبت على أي حال، آملاً في أن أعرف ما كان يفكر فيه الناس. تذكرت بعضا من المحاضرات الجميلة التي ألقاها روبرت جيروش Robert Geroch، من جامعة شيكاغو، الذي كان حينئذ نجمًا في هذا المجال، عن رياضيات الأمكنة اللانهائية. لاقى تصفيقًا حماسيًا متواصلاً لأحد الأدلة الأنيقة بشكل خاص. ثم، بقى في نهاية المؤتمر محاضرة لأكاديمي شاب اسمه بيتر فان نيوونهويزن Peter van Nieuwenhuizen. أذكر أنه كان عصبيًا تمامًا. بدأ بالقول بأنه كان هناك لتقديم نوع جديد من نظرية الجاذبية. وجذب اهتمامي كاملاً.

قال فان نيوونهويزن إن نظريته الجديدة تقوم على التماثل الفائق، ثم فكرة جديدة للتوحيد بين البوزونات والفرميونات. يطلق على الجسيمات التي نحصل عليها من تكميم موجات الجاذبية الجرافيتونات، وهي نوع من البوزون. ولكن لكي يكون لمنظومة ما تماثل فائق، يجب أن يكون فيها كل من البوزونات والفرميونات. وليس في النسبية العامة فرميونات، لذلك يجب وضع فرضية لفرميونات جديدة لكي تكون الشركاء الفائقين للجرافيتونات. و"السجرافيتون Sgraviton" ليست كلمة سهلة في قولها، لذلك أُطلق عليها جسيمات جرافيتينو.

وحيث إنه لم تتم رؤية جرافيتينو أبدًا، قال، كانت لدينا الحرية في ابتكار قوانين تنطبق عليها. لكي تكون النظرية متماثلة في حالة التماثل الفائق، لا يمكن للقوى أن تتغير عندما يتم استبدال جسيمات الجرافيتينو بجرافيتونات. ويضع ذلك كمية كبيرة من القيود على القوانين، ويتطلب

البحث عن حلول لهذه القيود أسابيع من الحسابات المجهدة. وانتهي فريقان من الباحثين من العمل في وقت متزامن تقريبًا.كان فان نيوونهويزن جزءًا من أحد الفريقين، وتضمن الآخر مستشاري في المستقبل في هارفارد، ستانلي ديسير Stanley Deser، الذي كان يعمل مع أحد مبتكري التماثل الفائق، برونو زامينو Bruno Zumino.

تكلم فان نيوونهويزن أيضًا عن طريقة أكثر عمقًا في التفكير في النظرية. تبدأ بالتفكير في تماثلات المكان والزمن. تظل خواص المكان العادي ثابتة لو درنا نحن أنفسنا، لأنه لا يوجد اتجاه مفضل. وتظل أيضًا دون تغير لو أننا تحركنا من مكان إلى آخر، لأن هندسة المكان متماثلة. بذلك تكون الانتقالات والدوران تماثلين للمكان. تذكر أنني شرحت في الفصل ٤ مبدأ القياس، وهو يقول إنه في بضعة الظروف يمكن لتماثل ما أن يفرض القوانين التي تلائم القوى. يمكنك تطبيق هذا المبدأ على تماثلات المكان والزمن. النتيجة هي على وجه الدقة نظرية النسبية العامة لأينشتاين. تلك هي طريقة عثور أينشتاين على نظريته، لكن لو أن أينشتاين لم يكن موجودًا، لكانت هذه هي الطريقة للوصول إلى النسبية العامة.

أوضح فان نيوونهويزن أنه يمكن اعتبار التماثل الفائق تعميق لتماثلات المكان. ويعود هذا إلى خاصية عميقة وجميلة: لو أنك غيرت كل الفرميونات إلى بوزونات ثم غيرتها من جديد بالعودة إلى وضعها السابق، تحصل على نفس العالم الذي كان لديك من قبل، ولكن بعد أن يكون كل شيء قد انتقل

مسافة بالغة الصغر في المكان. لا يمكننا هنا شرح سبب أن هذا صحيح، لكنه يخبرنا بأن التماثل الفائق يرتبط بشكل ما من الناحية الأساسية بهندسة المكان. نتيجة لذلك، لو أنك طبقت مبدأ القياس على التماثل الفائق، تكون النتيجة نظرية جاذبية – جاذبية فائقة. لو رأينا الأمر بهذه الطريقة، تكون الجاذبية الفائقة تعميق بالغ للنسبية العامة.

كنت وافدًا جديدًا على المجال، هبطت على مؤتمر. لم أكن أعرف أي شخص هناك، لذلك لم أكن أعرف ما فكر فيه من استمعوا إلى فان نيوونهويزن حول ما قاله، لكنني تأثرت إلى حد كبير. عدت إلى البيت وأنا أفكر بأنه كان أمرًا جيدًا أن الرجل كان عصبيًا جدًا، لأنه لو كان ما قاله صحيحا، سيكون مهمًا بالفعل.

خلال عامي الأول في الدراسات العليا، حصلت على منهج دراسي مع ستانلي ديسير، الذي ألقى محاضرات حول النظرية الجديدة للجاذبية الفائقة. وجدت جاذبية في ذلك وبدأت التفكير فيه، لكنني كنت في حيرة. ما الذي يعنيه هذا؟ وما الذي يحاول أن يخبرنا به؟ حصلت على صديق جديد هناك، زميل دراسة اسمه مارتين روكيك Martin Rocek، وكان منجذبًا للأمر هو أيضًا. تعلق بسرعة ببيتر فان نيوونهويزن، الذي كان في ستوني بروك، وبدأ التعاون معه ومع طلابه. لم تكن ستوني بروك بعيدة، وأخذني مارتين في إحدى زياراته هناك. كانت الأمور في حالة إقلاع هناك إلى حد كبير، وأراد أن يعطيني فرصة في المشاركة في بداية المغامرة.

كان الأمر مثل أن تعرض على شخص الوظائف الأولى في مايكروسوفت أو جوجل. كان روكيك، وفان نيوونهويزن والكثير ممن قابلتهم من خلالهما قد حصلوا على وظائف رائعة من خلال العلم في التماثل الفائق والجاذبية الفائقة. وأنا متأكد أنه من خلال وجهة نظرهم، كنت أتصرف مثل أبله وفقدت فرصة رائعة.

بالنسبة لي (وبالنسبة لآخرين، أنا متأكد)، يطرح الدمج بين التماثل الفائق ونظرية مكان وزمن أسئلة عميقة. ولقد تعلمت النسبية العامة من قراءة أينشتاين، ولو أنني قد فهمت أي شيء، فإنه سيكون حول كيفية دمج النظرية للجاذبية مع هندسة المكان والزمن. كانت تلك الفكرة شبه أكيدة. والآن يتم إعلامي بأن جانبًا آخر عميقًا للطبيعة تم توحيده أيضًا بالمكان والزمن – حقيقة أن هناك فرميونات وبوزونات. قال لي أصدقائي ذلك، وتقول المعادلات نفس الشيء. لكن لم يخبرني لا أصدقائي ولا المعادلات معنى ذلك. كنت فاقدًا للفكرة، مفهوم الأمر. شيء ما في فهمي للمكان والزمن، للجاذبية وما يعني فرميون وبوزون، يجب أن يتعمق نتيجة لهذا التوحيد. ولا يجب أن يقتصر الأمر على الرياضيات – يجب لفهمي نفسه عن الطبيعة أن يتغير.

لكن هذا لم يحدث. ما وصلت إليه من مصاحبتي لطلاب فان نيوونهويزن أنهم مجموعة من الشباب الأذكياء يميلون إلى التقنية ويجرون الحسابات بشكل محموم، نهارًا وليلاً. ما كانوا يفعلونه هو ابتكار أنواع من الجاذبية الفائقة. كل نوع له مجموعة أكبر من التماثلات مقارنة بما يسبقه، ويوحد عائلة أكبر من الجسيمات. كانوا يعملون من أجل نظرية نهائية توحد

كل الجسيمات والقوى مع المكان والزمن. كان لهذه النظرية اسم تقني واحد وهو نظرية N=8، حيث N عدد الطرق المختلفة لمزج الفرميونات والبوزونات. النظرية الأولى – تلك التي قدمها لي فان نيوونهويزن وديسير– كانت هي الأكثر بساطة N=1. ولقد وصل بعض الأشخاص في أوروبا لنظرية N=2. وفي أسبوع وجودي في ستوني بروك، كان الناس هناك يتقدمون نحو N=4، في طريقهم إلى N=8.

كانوا يعملون نهارًا وليلاً، ويطلبون الطعام الجاهز، ويتحملون دون شكوى ضجر العمل مع تأكيد طائش بأنهم في طريقهم إلى شيء جديد سيغير العالم. أخبرني أحدهم أنه كان يعمل بأسرع ما يمكنه لأنه كان متأكدًا من أنه عندما يعرف العالم كم كان من السهل صياغة نظريات جديدة، سيحدث فيضان في المجال. بالفعل، لو تذكرت جيدًا، وصلت الجماعة إلى N=4 لكنهم كانوا يستبقون N=8.

لم يكن ما يفعلونه سهلا بالنسبة لي. كانت الحسابات من الطول والضجر بحيث تصيب العقل بالخدر. كانت تتطلب دقة كاملة: لو أن عاملاً أو اثنين تم فقده في مكان ما، قد يصبح من الواجب التخلي عن عمل استغرق أسابيع. كل سطر من الحساب في عشرات من التعبيرات الرياضية: لجعل سطر من الحساب يتناسب مع صفحة ما، يلجأون إلى رزم من الأوراق أكبر فأكبر. وعلى الفور يحملون هنا وهناك رزم أوراق ضخمة، أكبر ما يجدونه. يغطون كل صفحة بكتابات بخط اليد بالغة الصغر ودقيقة. تمثل كل رزمة أشهرًا من العمل. تأتي إلى التفكير كلمة "رهباني". لقد أصبت بالفزع. مكثت أسبوعًا ثم هربت.

لعقود بعد ذلك، كنت بالأحرى على علاقات غير مريحة مع بيتر، ومارتين وآخرين. قد يعود ذلك إلى أنه تم اعتباري خاسرًا وقد هربت عندما عرضوا عليّ فرصة للانضمام إليهم في إطلاق الجاذبية الفائقة. لو كنت قد انضممت إليهم، لكان لي وضعي الجيد لأن أصبح أحد قادة نظرية الأوتار. وما فعلته بدلاً عن ذلك أنني التزمت باتجاهي الخاص، والذي ساهم في النهاية في العثور على مقاربة مختلفة لمشكلة الجاذبية الكمية. وذلك جعل الأمور أسوأ فضلاً عن ذلك: لم أكن خاسرًا فقط تخلى عن الإيمان الصحيح، لقد كنت خاسرًا معرضًا لأن أصبح منافسًا.

عندما أفكر في المهن العلمية للأشخاص الذين عرفتهم خلال الثلاثين سنة الماضية، يبدو لي أكثر فأكثر أن قرارات المهنة هذه تتعلق بالشخصية. بعض الناس سيكونون سعداء بالقفز إلى الأمر الكبير التالي، يعطونه كل ما حصلوا عليه، وبهذه الطريقة يقدمون مساهمات مهمة للمجالات سريعة الحركة. وآخرون ليس لديهم فحسب طبيعة فعل ذلك. بعض الناس يحتاجون إلى التفكير في كل شيء بعناية شديدة، وهؤلاء يستغرقون زمنًا، حيث يكون من السهل أن يصابوا بالارتباك. ليس من الصعب الشعور بالتفوق بالنسبة لهؤلاء الناس، حتى تتذكر أن أينشتاين كان واحدًا منهم. من خلال تجربتي الخاصة، تميل الأفكار والابتكارات الجديدة العميقة فعلاً لأن تأتي من هؤلاء الأشخاص. ويبقى آخرون – وأنا أنتمي لهذه المجموعة الثالثة – يشقون طريقهم فحسب على طريقتهم الخاصة، ويهربون من مجالات لا لسبب أفضل من أنه يزعجهم أن بعض الأشخاص ينضمون لأنه يبدو من الجيد أن يكونوا

مع الطرف الفائز. لذلك لم أعد منزعجًا عندما لم أتفق مع ما كان يفعله أشخاص آخرون، لأنني أرى أن هذه الطبيعة تحدد إلى حد كبير نوع العلم الذي ينجزونه. لحسن حظ العلم، يحتاج الأمر إلى مساهمات من مجمل نطاق الأنواع. أولئك الذين ينجزون علمًا جيدًا، وصلت إلى الاعتقاد بذلك، يفعلون ذلك لأنهم يختارون مشاكل مناسبة لهم.

على أي حال، هربت من مجموعة ستوني بروك Stony Brook للجاذبية الفائقة لكنني لم أفقد اهتمامي بالجاذبية الفائقة. بالعكس، كنت أكثر اهتمامًا عن أي وقت مضى. كنت متأكدًا من أنهم في طريقهم لاكتشاف شيء ما، لكن الطريق الذي اتخذوه لم يكن الطريق الذي يمكنني إتباعه. فهمت نظرية النسبية العامة لأينشتاين، مما يعني أنني عرفت كيفية إظهار كل خاصية جوهرية لها في صفحة أو أقل في عمل موجز وواضح. وبدا لي أنك لو فهمت نظرية، لا يحتاج الأمر إلى أسابيع من الحسابات على رزمة ورق كبير لفحص خواصها الأساسية.

دخلت في فريق مع طالب آخر متخرج - صديق لي من هامبشاير كولدج، جون ديل John Dell، الذي كان في جامعة ماريلاند. أردت أن أفهم بشكل أكثر عمقًا كيف حدث أن التماثل الفائق كان جزءًا من هندسة المكان والزمن. ووجد بعض الأبحاث تعود إلى عالم رياضيات اسمه بيرترام كوستانت Bertram Kostant حول نوع جديد من الهندسة تتوسع في الرياضيات التي استخدمها أينشتاين بإضافة خواص جديدة بدا أنها تسلك مثل الفرميونات قليلاً. كتبنا معادلات النسبية العامة في هذا السياق الجديد، وظهرت فجأة بعض معادلات الجاذبية الفائقة. وحصلنا على أول بحث علمي لنا.

في نفس الوقت تقريبًا، طور آخرون مقاربة بديلة لهندسة الجاذبية الفائقة تسمى الهندسة الفائقة. شعرت عندئذ (وأشعر الآن) أن ترتيباتهم غير مصقولة أكثر من ترتيباتنا. فهي أكثر تعقدًا بكثير، لكن بالتأكيد كانت الأمور التي تعالجها أفضل بكثير. ساهمت في تبسيط الحسابات إلى حد ما، وقد لاقى هذا تقديرا بالتأكيد. هكذا أصبحت الهندسة الفائقة مشهورة، وتم نسيان عملنا. لم نهتم أنا وجون، لأن أيا من المقاربتين لم يتح لنا ما كنا نبحث عنه. بينما نجحت الرياضيات، فإنها لم تؤد إلى أي قفزات مفاهيمية. بالنسبة لتلك الأيام، لا أظن أن أي شخص قد فهم بالفعل ما يعنيه التماثل الفائق، وما يقوله من الناحية الأساسية عن الطبيعة – لو كان صحيحًا.

انقضت سنوات كثيرة، وأظن أنني يمكنني في النهاية أن أفصح عن ما دفعني بعيدًا عن الجاذبية الفائقة في تلك الأيام المبكرة. بعد أن تعلمت الفيزياء بدراسة أينشتاين في الأصول، حصلت على إدراك لنوع من التفكير يدخل ضمن توحيد جديد ثوري للفيزياء. ما توقعته كان أن نوعًا جديدًا من التوحيد قد يبدأ من مبدأ عميق، مثل مبدأ القصور الذاتي أو مبدأ التكافؤ. يمكنك أن تحصل من هذا التبصر العميق والمدهش على شيئين رأيتهما ذات مرة غير مرتبطين وكانا بالفعل في الجذر هما نفس الشيء. الطاقة كتلة. الحركة والسكون لا يمكن التمييز بينهما. التسارع والجاذبية هما نفس الشيء.

لم تكن الجاذبية الفائقة تفعل ذلك. رغم أنها كانت بالفعل اقتراحًا لتوحيد جديد، كانت من النوع الذي يمكن التعبير عنه، وفحصه، فقط في سياق حسابات مضجرة بشكل ساحق للعقل. يمكنني إجراء الحسابات الرياضية،

لكن لم تكن تلك هي الطريقة التي تعلمتها لإنجاز العلم بقراءتي لأينشتاين والمحترفين الآخرين.

الصديق الآخر الذي كان لديّ في ذلك الوقت كان كيلوج ستيل Kellogg Stelle، الذي كان أكبر مني ببضع سنين و، مثلي، كان طالبًا لستانلي ديسير. كانا معًا يستكشفان مسألة ما إذا كانت الجاذبية الفائقة تسلك أفضل من النسبية العامة عندما يتم الجمع بينها وبين نظرية الكم. حيث لم يكن هناك تقدم حتى ذلك الحين في طرق استقلال الخلفية، فإنهما، مثل أي شخص آخر، استخدما طريقة الاعتماد على الخلفية التي فشلت بشكل بائس جدًا عندما تم تطبيقها على النسبية العامة. واستطاعا بسرعة رؤية أنها تعمل بشكل أفضل عند تطبيقها على الجاذبية الفائقة. فحصا أول مكان تحدث فيها لانهاية في النسبية العامة الكمية وتوصلا بدلاً من ذلك على عدد محدود.

تلك كانت أنباء طيبة: يحسن التماثل الفائق الموقف بالفعل! لكن البهجة لم تستمر طويلاً. احتاج ديسير وستيل فقط إلى بضعة أشهر أخرى لإقناع نفسيهما بأن اللانهائيات قد تزداد أكثر. كان من الصعب جدًا إجراء الحسابات الحالية، حتى بعد أشهر من العمل برزم الورق الكبير، وجدا طريقة لاختبار ما إذا كانت النتيجة تكون في النهاية محدودة أو لانهائية.

مع ذلك، لم يكونا قد فعلا ذلك، لأنه كان هناك كل الأنواع الأخرى من الجاذبية الفائقة التي يجب اختبارها. ربما يعطي واحدا منها في النهاية نظرية كمية متسقة. وتمت دراسة كل الأنواع واحدا بعد الآخر. كل نوع كان أكثر تحديدًا بعض الشيء، بحيث يكون عليك عمل المزيد في سلسلة التقريبات قبل

فشل الاختبار. بينما كانت الحسابات كلها بالغة الصعوبة في إجرائها، بدا أنه ليس هناك أي سبب لأي إجابة في أن تكون أكثر لانهائية بعد هذه النقطة. كان هناك القليل من الأمل بأن النظرية النهائية، N=8 المشهورة، قد تكون مختلفة. تم إنشاؤها في النهاية بعمل بطولي تم إنجازه في باريس. لكنه، أيضًا، فشل في الاختبار – رغم أنه ظل هناك البعض الذين كان لديهم أمل فيه.

الجاذبية الفائقة كانت وستظل نظرية رائعة. لكنها في حد ذاتها لم تكن كافية لحل مشكلة الجاذبية الكمية.

لذلك، مع بداية الثمانينيات لم يكن هناك تقدم في تقديم نظرية عن الجاذبية الكمية. كل شيء تمت تجربته، حتى ما يتضمن الجاذبية الفائقة، فشل. مع انتصار نظريات القياس، تجمد مجال الجاذبية الكمية. وتلك القلة منا التي أصرت على القلق تجاه الجاذبية الكمية شعروا مثل تارك المدرسة الثانوية المدعو لمراقبة أخته المتخرجة في هارفارد بدرجات متزامنة في الطب، والبيولوجيا العصبية، وتاريخ الرقص في الهند القديمة.

لو كان فشل الجاذبية الفائقة الذي يؤدي إلى نظرية جيدة في الجاذبية الكمية قد أحبطنا، فإنه، رغم ذلك، حررنا. تمت تجربة كل الأمور السهلة. ولعقود، حاولنا صياغة نظرية بالتوسع في طرق فينمان وأصدقائه. وكان هناك الآن فقط أمران يمكن تجربتهما: التخلي عن الطرق القائمة على هندسة الخلفية الثابتة. أو التخلي عن فكرة أن الأشياء التي تتحرك في هندسة الخلفية جسيمات. كانت كلتا المقاربتين على وشك استكشافهما، وقد تتيحان – للمرة الأولى – نجاحات مثيرة في الطريق إلى جاذبية كمية.

الجزء الثانى

مختصر تاريخ نظرية الأوتار

٧

الاستعداد لتطور ما

يتوقف التقدم العلمي أحياناً عندما نواجه مشكلة لا يمكن حلها فحسب بالطريقة التي نفهمها بها. هناك عنصر مفقود، نوع مختلف من الخدعة متضمنة في الأمر. لا يهم مدى الجهد الذي نبذله، فلن نجد الإجابة حتى يتعثر شخص ما بطريقة ما في هذه الحلقة المفقودة.

ربما تكون المرة الأولى التي حدث فيها ذلك مع حالات كسوف الشمس. بوجود مأساة من الظلمة المفاجئة في السماء، لعل النهج الأول لعلماء الفلك الأوائل كان العثور على طريقة للتنبؤ بهذه الأحداث المروعة. وبداية من عدة آلاف من السنوات في الماضي، بدأ الناس يحفظون سجلات لأرصاد حالات كسوف الشمس، مضافاً إليها حركات الشمس، والقمر، والكواكب. ولم يحتاجوا إلى وقت طويل ليفهموا أن حركة الشمس والقمر دورية، ولدينا دليل على أن الناس عرفوا ذلك حتى أيامنا في سكنى الكهف. لكن أمر حالات الكسوف كان أكثر صعوبة.

كانت قلة من الأشياء واضحة بالنسبة لعلماء الفلك الأوائل. تحدث حالات الكسوف عندما تتقابل الشمس والقمر، اللذان يتخذان مسارين مختلفين عبر السماء، أحدهما الآخر. يتقاطع مسارهما في مكانين. لكي يحدث كسوف

شمس، يجب أن تتقابل الشمس والقمر عند إحدى هاتين النقطتين. لذلك لكي يتم التنبؤ بحالات كسوف الشمس، عليك تتبع المسار السنوي للشمس والمسار الشهري للقمر. ببساطة تتبع المسارين وتلاحظ متى يتقابل الجرمان. التضمين هو أنه يجب أن يكون هناك نمط يتكرر في مضاعفة ما لتسعة وعشرين يوما ونصف يومًا في الدورة القمرية.

لكن هذه الفكرة البسيطة لم تنجح: لا تقع حالات كسوف الشمس في نمط يتم التحكم فيه بالضبط بواسطة الشهر القمري. يمكننا أن نتخيل بسهولة أجيال علماء النظريات الذين حاولوا وفشلوا في المصالحة بين حركات هذين الجرمين العظيمين. ولعله كان لغزًا كبيرًا بالنسبة لهم مثل المصالحة بين النسبية العامة ونظرية الكم بالنسبة إلينا.

لا نعرف من الذي أدرك أن هناك عنصرا مفقودا، لكننا مدانون لمن فعل ذلك بدين كبير. يمكننا تخيل عالم فلك، ربما في بابل أو مصر القديمة، أدرك فجأة أنه لم يكن هناك فقط حركتان دوريتان لوضعهما في الاعتبار، ولكن ثلاثة. ربما كان حكيمًا، الذي حفظ البيانات عن ظهر قلب بعد عقود من الدراسة. ربما كان متمردًا شابًا، لم يتلق بعد غسيل مخ ليفكر في أن عليك تفسير ما تراه فقط بمصطلحات الأجرام المرصودة. أيًا كانت الحالة، اكتشف هذه المبتكر دورة تذبذبية ثالثة غامضة في البيانات، لا تحدث مرة واحدة في الشهر أو مرة واحدة في السنة، ولكن على وجه التقريب كل ثماني عشرة سنة وثلثي السنة. يتضح أن نقاط عبور المسارين للسماء ليست ثابتة: يدوران أيضًا، ويستغرقان ما يزيد على ثماني عشرة سنة وزيادة لقطع دائرة كاملة.

لعل اكتشاف هذه الحركة الثالثة - العنصر المفقود - كان أحد الانتصارات المبكرة للتفكير المجرد. نحن نرى جرمين، الشمس والقمر. لكل منهما دورة، معروفة منذ الأزمنة القديمة. احتاج الأمر إلى فعل الخيال لمعرفة أن شيئًا ما آخر كان يتحرك أيضًا: المساران نفسيهما. تلك كانت خطوة هائلة، لأنها تطلبت إدراك أن وراء الحركة التي نرصدها هناك حركات أخرى يمكن فقط استنتاج وجودها. لم يتقدم العلم منذ ذلك الوقت سوى عدة مرات قليلة فحسب باكتشاف مثل هذا العنصر المفقود.

ربما يمكن اعتبار فكرة أن الجسيمات الأولية ليست جسيمات شبه نقطية لكنها اهتزازات أوتار فكرة أخرى من هذه التبصرات النادرة. لقد أعطت إجابة معقولة لعدة مشاكل كبيرة في الفيزياء. لو كانت صحيحة، فإنها لإدراك عميق مثل الاكتشاف القديم بأن الدوائر التي تنتقل الكواكب عبرها هي نفسها تتحرك.

ابتكار نظرية الأوتار أُطلق عليه ثورة علمية، لكنها استغرقت زمنًا طويلاً. كما هو الحال في بعض الثورات السياسية - لكن في ما لا يشبه الثورات العلمية في الماضي - تطلعت إليها طليعة صغيرة، كدحت لسنوات في عزلة نسبية. بدأوا في أواخر الستينيات في استكشاف ما حدث عندما بددت الجسيمات التي تتفاعل بشدة - أي، الجسيمات المصنوعة من الكواركات، مثل البروتونات والنيوترونات، وتلك التي تتحكم فيها القوة النووية الشديدة - بعضها البعض. ليست هذه المشكلة من المشكلات الخمس، لأنها مفهومة الآن، على الأقل من حيث المبدأ، بالنسبة للنموذج المعياري. لكن قبل ابتكار النموذج المعياري، كانت مشكلة أساسية بالنسبة لعلماء نظريات الجسيمات الأولية.

بجانب البروتونات والنيوترونات، هناك الكثير جدًا من الجسيمات الأخرى مصنوعة من الكواركات. وتلك الأخرى غير مستقرة، ويتم إنتاجها في المسارعات بتحطيم حزمة من البروتونات عند طاقة عالية إلى بروتونات أخرى. من الثلاثينيات حتى الستينيات، راكمنا الكثير من البيانات حول الأنواع المختلفة من الجسيمات التي تتفاعل بشدة وما يحدث في حالة تصادم اثنين منها.

في ١٩٦٨، رأى عالم فيزياء إيطالي شاب اسمه جابريل فينزيانو Gabriele Veneziano نمطًا مثيرًا في البيانات. ووصف النمط بكتابة صيغة تصف احتمالات تبدد جسيمين من بعضهما البعض عند زوايا مختلفة. تتناسب صيغة فينزيانو مع بعض البيانات بشكل مثير للاهتمام(١).

جذبت اهتمام بعض من زملائه، في أوروبا وفي الولايات المتحدة، الذين ارتبكوا تجاهها. وفي ١٩٧٠ استطاعت قلة تفسيرها بمصطلحات التصور الفيزيائي. تبعًا لهذا التصور، لا يمكن رؤية الجسيمات باعتبارها نقاطًا، وهي الطريقة التي كان يتم رؤيتها بها دائمًا من قبل. وبدلاً عن ذلك، فإنها "تشبه الوتر"، وتوجد فقط في بعد واحد، ويمكن أن تتمدد، مثل الشرائط المطاطية. وعندما تكتسب طاقة، تتمدد، وعندما تعطي طاقة، تتقلص – تمامًا أيضًا مثل الشرائط المطاطية. ومثل الشرائط المطاطية فإنها تهتز.

بذلك كانت صيغة فينزيانو ممرًا لعالم فيه تكون الجسيمات التي تتفاعل بشدة كلها من الشرائط المطاطية، تهتز كما لو أنها تتحرك، وتتصادم ببعضها

البعض وتتبادل الطاقة. يمكن أن تناظر الحالات المختلفة لاهتزاز الأنواع المختلفة من الجسيمات التي يتم إنتاجها في تجارب تحطم البروتون.

تم تطوير هذا التفسير لصيغة فينزيانو بشكل مستقل بواسطة يوشيرو نامبو Yoichiro Nambu في جامعة شيكاغو، وهولجر نيلسين Holger Nielsen في معهد نيز بور، وليونارد ساسكيند Leonard Susskind، الموجود الآن في جامعة ستانفورد. ظن كل منهم أنه أنجز شيئًا فاتنًا، لكنهم لم يجدوا سوى اهتمام قليل بأعمالهم. تلقى ساسكيند رفضًا من "فيزيكال رفيو ليترز" يشير إلى أن تبصره لم يكن من الأهمية بحيث يتم نشره. وكما أوضح لاحقًا في لقاء معه، "بووم! شعرت كما لو أنني تلقيت ضربة على رأسي بوعاء قمامة، وكنت منزعجا جدًا منزعجا إلى أقصى درجة"(٢).

لكن قلة من الأشخاص نجحوا وبدأوا العمل على نفس التفسير. ربما كان الأكثر دقة تسمية مجموعة الأفكار الناتجة نظرية الشريط المطاطي. لكن حيث ينقص هذه التسمية وقار ما، كان الذي وُلد هو نظرية الأوتار. بصفتها نظرية للجسيمات المتفاعلة بشدة، تم استبدال نظرية الأوتار في وقت لاحق بالنموذج المعياري. لكن هذا لا يعني أن علماء نظرية الأوتار كانوا على خطأ، في الحقيقة تسلك الجسيمات شديدة التفاعل في ما يشبه إلى حد كبير الأوتار. كما تمت مناقشته في الفصل ٤، يتم الآن وصف القوة بين الكواركات بشكل أساسي أكثر بواسطة مجال القياس، ويبدو أن القانون الأساسي تعطيه ديناميكا اللون الكمية QCD، وهي جزء من النموذج المعياري. لكن في بعض الأحوال يمكن وصف النتيجة كما لو أن هناك أشرطة مطاطية بين الكواركات. وهذا

لأن القوة النووية الشديدة لا تشبه إلى حد كبير القوة الكهرومغناطيسية. بينما تصبح القوة أضعف مع المسافة، فإن القوة بين كواركين تقترب من شدة ثابتة كلما سحبنا الكواركين بعيدًا عن بعضهما ثم تبقى ثابتة أيًا كان البعد بينهما بعد ذلك. هذا هو سبب أننا لا نرى مطلقًا كواركات حرة في تجارب المسارعات، فقط جسيمات مصنوعة من كوراكات مترابطة. مع ذلك، عندما تصبح الكواركات قريبة جدًا من بعضها، تضعف القوة بينها. هذا أمر مهم. تصور الوتر (أو الشريط المطاطي) ينجح فقط عندما تكون الكواركات عند مسافة كافية من بعضها البعض.

كان ينقص علماء نظرية الأوتار الأصلين هذا التبصر الجوهري. لقد تخيلوا عالمًا تكون فيه الكواركات مرتبطة ببعضها بأشرطة مطاطية، لوقت ما - أي حاولوا جعل نظرية الأوتار نظرية أساسية، وليست تقريبًا لأي شيء أعمق. وعندما حاولوا فهم الأوتار بوصفها أوتارًا، ظهرت مشكلة. أتت المشاكل من متطلبين معقولين فرضوهما على نظريتهم: الأول، يجب أن تكون نظرية الأوتار متسقة مع نظرية النسبية المكانية لأينشتاين - أي، يجب أن تحترم نسبية الحركة والاتساق مع سرعة الضوء. ثانيًا، يجب أن تتسق مع نظرية الكم.

بعد عمل لبضع سنوات، تم التوصل إلى أن نظرية الأوتار، باعتبارها نظرية أساسية، يمكن أن تتسق مع النسبية المكانية ونظرية الكم فقط لو أن عدة شروط كانت متوافرة. أولاً، يجب أن يكون للعالم خمس وعشرون بعدًا للمكان. يجب أن يكون هناك تاكيون tachyon - جسيم يتحرك بسرعة أسرع

من الضوء. ثالثًا، لا بد أن هناك جسيمات لا يمكن جعلها ساكنة. نشير إليها باعتبارها جسيمات بدون كتلة، لأن الكتلة هي مقاس طاقة الجسيم عندما لا توجد له حركة.

لا يبدو أن للعالم خمسة وعشرين بعدًا للمكان. سبب أن النظرية لم يتم التخلي عنها عندئذ وعند هذه النقطة لهو أحد أكبر ألغاز العلم. المؤكد أن الاعتماد على أبعاد إضافية منع الكثير من الأشخاص من أخذ نظرية الأوتار مأخذًا جادًا قبل ١٩٨٤. يبقى الكثير حول من هو على حق – الأشخاص الذين رفضوا فكرة الأبعاد الإضافية قبل ١٩٨٤ أو أولئك الذين أصبحوا مقتنعين بوجودها بعد ذلك.

تطرح جسيمات التاكيون مشكلة أيضًا. لم تتم رؤيتها أبدًا، بل والأسوأ أن وجودها يشير إلى أن النظرية غير مستقرة، ومن المحتمل إلى حد بعيد أن تكون غير متسقة. تلك كانت الحالة أيضًا حيث لا توجد جسيمات متفاعلة بشدة بدون كتلة، لذلك فشلت النظرية كنظرية للجسيمات المتفاعلة بشدة.

كانت هناك مشكلة رابعة. تحتوي نظرية الأوتار على جسيمات، لكن ليس كل الجسيمات في الطبيعة. لم تكن هناك فرميونات – وبذلك لم تكون هناك كواركات. تلك كانت مشكلة ضخمة لنظرية مزعومة عن التفاعلات الشديدة!

تمت معالجة ثلاث من المشاكل الأربع بإجراء واحد. في ١٩٧٠، وجد عالم النظريات بيير راموند Pierre Ramond طريقة لتعديل المعادلات التي تصف وترًا، بحيث يكون فيها فرميونات[٣]. وتوصل إلى أن النظرية ستكون متسقة فقط لو أن لها تماثلا جديدا. ويمكن لهذا التماثل أن يخلط الجسيمات

القديمة بالجديدة – أي، يمكنه خلط البوزونات بالفرميونات. هكذا كانت كيفية اكتشاف بيير راموند لهذا التماثل الفائق، أيًا كان مصير نظرية الأوتار، فإنه ثبت أنها طريق لاكتشاف التماثل الفائق، لذلك باعتبارها حاضنة لأفكار جديدة، كانت مثمرة بالفعل.

تتعامل نظرية الأوتار الفائقة الجديدة أيضًا مع مشكلتين أخريتين. ليس فيها تاكيونات، لذلك فإن العقبة الأساسية أمام أخذ الأوتار مأخذًا جادًا تمت إزاحتها. ولم يعد هناك خمسة وعشرون بعدًا للمكان، فقط تسعة. التسعة ليست ثلاثة، لكنها أكثر قربًا. بإضافة الزمن، فإن الوتر فائق التماثل الجديد (أو الوتر الفائق، للاختصار) يوجد في عالم من عشرة أبعاد. هذا أقل من الأحد عشر بواحد، وهو، ويا للعجب، أقصى عدد أبعاد يمكن كتابته لنظرية جاذبية فائقة.

في نفس الوقت تقريبًا، تم ابتكار طريقة ثانية لوضع الفرميونات في الوتر بواسطة أندري نيفو Andrei Neveu وجون شوارز John Schwarz. ومثل طريقة راموند لم يكن في نسخة نظريتهما تاكيونات ووجدت في عالم له تسعة أبعاد مكانية. وتوصل نيفو وشوارتز أيضًا إلى أنهما يستطيعان جعل الأوتار الفائقة تتفاعل مع بعضها البعض، وحصلا على صيغة كانت متسقة مع مبادئ ميكانيكا الكم والنسبية الخاصة.

وهكذا تبقى هناك لغز واحد فحسب. كيف يمكن للنظرية فائقة التماثل الجديدة أن تكون نظرية للتفاعلات الشديدة لو أنها تحتوي على جسيمات بدون كتلة؟ لكن في الحقيقة كان يوجد بوزونات بدون كتلة. واحد منها هو

الفوتون. لا يبقى الفوتون ساكنًا ويمكنه فقط الانتقال بسرعة الضوء. لذلك له طاقة لكنه بدون كتلة. ونفس الأمر صحيح بالنسبة للجرافيتون، الجسيم الافتراضي المصاحب لموجات الجاذبية. في ١٩٧٢، توصل نيفو، وعالم فيزياء فرنسي آخر، جويل شيرك Joel Scherk، إلى أن الأوتار الفائقة لها حالات تذبذب تناظر بوزونات القياس، بما في ذلك الفوتون. تلك كانت خطوة في الاتجاه الصحيح[٤].

لكن حتى الخطوة الأكبر استغرقت عامين بعد ذلك، بواسطة شيرك وشوارز. توصلا إلى أن بعض الجسيمات منعدمة الكتلة التي تم التنبؤ بها بواسطة النظرية يمكن أن تكون بالفعل جرافيتونات[٥]. (نفس الفكرة جاءت بشكل مستقل لعالم فيزياء ياباني، تامياكي يونيا Tamiaki Yoneya)[٦].

حقيقة أن نظرية الأوتار تحتوي بوزونات قياس وجرافيتونات تغير كل شيء. اقترح كيرك وشوارز على الفور أن نظرية الأوتار، أكثر من كونها نظرية تفاعلات شديدة، هي بدلاً عن ذلك نظرية أساسية - النظرية التي توحد الجاذبية مع القوى الأخرى. لمعرفة مدى جمال وبساطة ذلك، لاحظ كيف تظهر الجسيمات الشبيهة بالفوتون والشبيهة بالجرافيتون، من الأوتار. يمكن للأوتار أن تكون مفتوحة أو مغلقة. الوتر المغلق أنشوطة. والوتر المفتوح هو خط، وله طرفان. تأتي الجسيمات منعدمة الكتلة التي قد تكون فوتونات من تذبذبات الأوتار المفتوحة أو المغلقة. وتأتي الجرافيتونات من تذبذبات الأوتار المغلقة، أو الأنشوطات.

يمكن اعتبار طرفي وتر مفتوح جسيمات مشحونة. على سبيل المثال، أحد الطرفان قد يكون جسيما مشحونا سلبيًا، مثل الإلكترون، وقد يكون الآخر عندئذ جسيما مضادا، البوزترون، وهو المشحون إيجابيًا. التذبذب منعدم الكتلة للوتر بينهما يصف الفوتون الذي يحمل قوة كهربائية بين الجسيم والجسيم المضاد. بذلك، تحصل على جسيمات وقوى مثل تلك الناتجة عن الأوتار المفتوحة، ولو كانت النظرية مصممة بالذكاء الكافي، يمكن أن تنتج كل القوى وكل الجسيمات الخاصة بالنموذج المعياري.

لو أن هناك أوتارا مفتوحة فقط، لا يكون هناك جرافيتون، لذلك يبدو كما لو أن الجاذبية محذوفة. لكن يتضح أن عليك إدراج الأوتار المغلقة. السبب أن الطبيعة تنتج تصادمات بين الجسيمات والجسيمات المضادة. وهي تفنى، وتخلق فوتونا. من وجهة نظر الوتر، يتم وصف ذلك بطرفين للوتر يجتمعان معًا ويندمجان. يختفي الطرفان ويبقى لديك أنشوطة مغلقة.

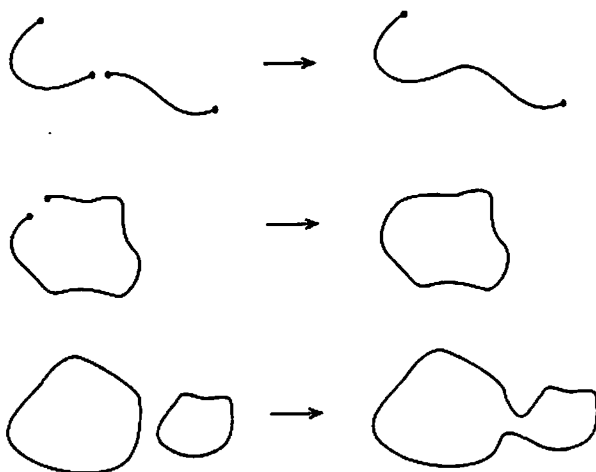
في الحقيقة، يعتبر فناء الجسيم-الجسيم المضاد وانغلاق الوتر أمرا ضروريا، لو أن على النظرية أن تكون متسقة مع النسبية، أي يتطلب الأمر أن يكون للنظرية أوتار مفتوحة ومغلقة. لكن هذا يعني أنها يجب أن تحتوي على الجاذبية. والاختلاف بين الجاذبية والقوى الأخرى يتم تفسيره بشكل طبيعي، قياسًا على الاختلاف بين الأوتار المفتوحة والمغلقة. لأول مرة، تلعب الجاذبية دورًا أساسيًا في توحيد القوى.

أليس هذا جميلا؟ تضمين الجاذبية بالغ الأهمية حتى إن الشخص العقلاني والذكي يثق في النظرية القائمة على ذلك وحده، سواء كان هناك أي دليل تجريبي تفصيلي عنها أو لم يكن. خاصة لو أن هذا الشخص كان يبحث لسنوات عن طريقة لتوحيد القوى، وبعد فشل كل شيء آخر.

لكن ما الذي جعلها تظهر؟ هل هناك قانون يتطلب أن تتلاقى أطراف الأوتار وتلتحم؟ هنا يوجد إحدى أكثر السمات جمالاً للنظرية، نوع من توحيد الحركة والقوى.

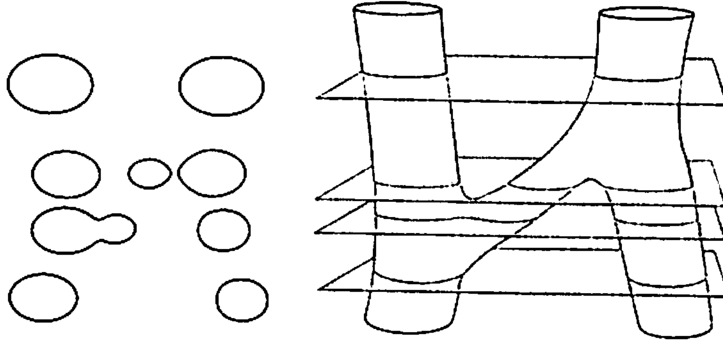
في أغلب النظريات، تعتبر حركة الجسيم والقوى الأساسية شيئين مختلفين. يخبرنا قانون الحركة كيف يتحرك الجسيم في غياب القوى الخارجية. منطقيًا ليست هناك علاقة بين هذا القانون والقوانين التي تحكم القوى.

في نظرية الأوتار، الموقف مختلف جدًا. يملي قانون الحركة قوانين القوى. هذا لأن كل القوى في نظرية الأوتار لها نفس الأصل البسيط – إنها تأتي من تحطيم ودمج الأوتار. بمجرد أن تصف كيفية تحرك الأوتار بشكل حر، كل ما عليك فعله لإضافة القوى هو إضافة احتمال أن يتحطم أي وتر إلى وترين. بعكس العملية في الزمن، يمكنك إعادة الالتحام بين وترين لجعلهما وترًا واحدًا (انظر الشكل ٥). قانون التحطيم والوصل يتضح أنه يتم وصفه بقوة، لكي يتسق مع النسبية الخاصة ونظرية الكم. تتحد القوة والحركة بطريقة كانت ستكون مستحيلة في نظرية تنظر للجسيمات باعتبارها نقاطًا.



الشكل ٥ – العلوي: وتران يتصلان عند طرفيهما. في الوسط: يلتحم طرفا وتر ليصنعا وترًا مغلقًا. السفلي: وتران مغلقان يلتحمان لصنع وتر مغلق.

لتوحيد القوى والحركة هذا عاقبة بسيطة. في نظرية جسيم، يمكنك بحرية إضافة كل أنواع القوى، لذلك لا يكون هناك ما يمنع مضاعفة الثوابت التي تصف عمل كل قوة. لكن في نظرية الأوتار، يمكن أن يكون هناك فقط ثابتان أساسيان فقط. أحدهما، يسمى توتر الوتر، وهو يصف كمية الطاقة التي تحتوي عليها وحدة الطول للوتر. والآخر، يطلق عليه ثابت تزاوج الوتر، وهو عدد يدل على احتمال تحطم الوتر إلى وترين، مما يؤدي إلى ظهور قوة، باعتبارها احتمالا، وهو عدد بسيط، بدون وحدات. كل الثوابت الأخرى في الفيزياء يجب أن ترتبط بهذين العددين. على سبيل المثال، يتضح أن ثابت الجاذبية لنيوتن يرتبط بمضروب قيمتيهما.



الشكل ٦: يتحدد توالد وتفاعل الأوتار بنفس القانون، وهو الذي يقلل مساحة سطح الزمكان إلى أدنى حد. على اليمين نرى سطح الزمكان يحدده وتران مغلقان، ويتفاعل بالتبادل مع وتر مغلق ثالث. على اليسار، نرى متتالية من الأشكال في المكان، تأتي من أخذ مقاطع خلال الصورة في الزمكان على اليمين. أولاً نرى وترين مغلقين، ثم مقاطع لوتر مغلق ثالث، الذي يتحرك ثم يندمج مع وتر ثان.

بالفعل، ليس ثابت تزاوج الوتر ثابتًا حرًا لكنه درجة فيزيائية للحرية. تعتمد قيمته على حل النظرية، لذلك أكثر من كونه بارامترا للقوانين، فإنه يعتبر بارامترا يصنف الحلول. يمكن القول بأن احتمال تحكم أو وصل وتر ما ثابت ليس بواسطة النظرية ولكن بواسطة بيئة الوتر – أي، بواسطة العالم الخاص متعدد الأبعاد الذي يوجد فيه. (عادة الثوابت هذه التي تنتقل من خواص النظرية إلى خواص البيئة هي جانب مهم لنظرية الأوتار، الذي سوف نعود إليه من جديد في الفصل التالي). فوق كل ذلك، يعتبر القانون الذي تخضع له الأوتار جميلاً وبسيطًا. تخيل نفخ فقاعة. إنها تتشكل على

هيئة كروية كاملة وهي تتمدد. أو انظر إلى فقاعات بعد أن تكون قد أخذت حمام فقاقيع. تكون أشكالها تعبيرًا عن قانون بسيط، الذي سوف نطلق عليه قانون الفقاقيع. يقول القانون إن سطح أي فقاعة يأخذ أقل مساحة ممكنة له، تحت تأثير القيود والقوى المؤثرة عليه.

يتضح أن هذا المبدأ ينطبق على الأوتار أيضًا. بينما يتحرك وتر ذو بعد واحد خلال الزمن، يصنع سطحًا ذا بعدين في الزمكان (انظر الشكل ٦). لهذا السطح مساحة معينة، تتحدد تقريبًا بضرب طوله في دوامه في الزمن.

يتحرك الوتر بحيث يقلل إلى أقصى حد من هذه المساحة. هذا هو القانون في مجمله. إنه يفسر حركة الأوتار، وبمجرد السماح للأوتار بأن تتحطم أو تلتحم، وجود كل القوى. وهو يوحد بين كل القوى التي نعرفها مع وصل الجسيمات. وهو أكثر بساطة بكثير من القوانين التي تصف أي شيء تقوم بتوحيده.

يضاف إلى ذلك أن نظرية الأوتار تحرز إنجازًا آخر في التوحيد. في أوائل القرن التاسع عشر، كان مايكل فاراداي قد تخيل المجالين الكهربائي والمغناطيسي قياسًا على خطوط المجال – خطوط تمتد بين أقطاب المغناطيسات، أو بين الشحنات الموجبة والسالبة. بالنسبة لفاراداي، كانت هذه الخطوط حقيقية، كانت هي التي تنقل القوى بين المغناطيسات والشحنات.

في نظرية ماكسويل، أصبحت خطوط المجال ثانوية بالنسبة للمجالات، لكن لم يكن لها أن تكون على هذا النحو. يمكننا تخيل أن خطوط المجال هي

ما يوجد بالفعل وأن القوى بين الجسيمات هي خطوط مجال تمتد بينها. لا يمكن إنجاز ذلك في نظرية تقليدية، لكنه ممكن في نظرية الكم.

في موصل فائق – أي، مادة لها مقاومة قليلة أو بدون مقاومة للكهرباء– تصبح خطوط المجال للمجال المغناطيسي متميزة. كل خط يحمل أصغر كمية محددة للتدفق المغناطيسي. يمكن التفكير في خطوط المجال هذه باعتبارها ذرة مجال مغناطيسي. في أوائل السبعينيات، اقترح ثلاثة متنبئين أن نفس الشيء صحيح بالنسبة لخطوط القوى في ديناميكا QCD، التي تتشابه مع خطوط المجال الكهربائي للكهرومغناطيسية. وهذه هي الطريقة التي أصبح بها عالم الفيزياء الدنماركي هولجر نيلسين أحد مبتكري نظرية الأوتار – رأى الأوتار باعتبارها خطوطا مكممة للتدفق الكهربائي. وجرى مزيد من تطوير هذا التصور بواسطة كينيث ولسون Kenneth Wilson في كورنيل، ومنذ ذلك الحين أُطلق على خطوط المجال الكهربائي المكمم خطوط ولسون. المتنبئ الثالث كان عالم الفيزياء الروسي ألكسندر بولياكوف Alexander Polyakov، الذي قد يكون أعمق مفكرينا في العلاقة بين نظريات القياس ونظريات الأوتار. أعطى بولياكوف حلقة البحث الوحيدة الأكثر إثارة للإلهام التي سمعتها كطالب متخرج، حيث أعلن عن طموحه لحل QCD بالضبط بإعادة التعبير عنها باعتبارها نظرية أوتار – حيث الأوتار هي خطوط التدفق الكهربائي المكمم.

تبعًا لهؤلاء المتنبئين، تعتبر الأشياء الأولية في أي نظرية قياس هي خطوط المجال. وهي تخضع لقوانين بسيطة، التي تملي كيفية امتدادها بين

الشحنات. وتظهر المجالات نفسها فقط باعتبارها وصفًا بديلاً. تناسب هذه الطريقة في التفكير بشكل طبيعي نظرية الأوتار، لأن خطوط المجال يمكن اعتبارها أوتارًا.

يقترح هذا نوعًا من ازدواجية الأوصاف: يمكن التفكير في خطوط المجال باعتبارها شيئا أوليا والقوانين الأساسية باعتبارها وصفًا لكيفية تمددها وحركتها، أو يمكن التفكير في المجال كأولي وخطوط المجال كطريقة مناسبة فحسب لوصف المجال. في نظرية الكم، ينجح أي من الوصفين. وأعطى ذلك الفرصة لظهور مبدأ نطلق عليه ازدواجية الأوتار والمجالات. وكلا الوصفين ينجحان. يمكن أخذ أي منهما كأولي.

حُرم بيير راموند PierreRamond من استحقاقه في يال في ١٩٧٦، بعد بضع سنوات من حله للكثير من المشاكل الأساسية في نظرية الأوتار. ويتضح أن ابتكار طريقة لوضع الفرميونات في نظرية أوتار، واكتشاف التماثل الفائق، والتخلص من التاكيون – كل ذلك دفعة واحدة – لم يكن كافيًا كإنجاز يقنع زملاءه بأنه يستحق درجة بروفيسور في معهد إفي ليج.

خلال ذلك، حرم جون شوارز من استحقاقه في برنستون، في ١٩٧٢، رغم مساهماته الأساسية في نظرية الأوتار. انتقل عندئذ إلى كالتيك، حيث كان باحثًا مشاركًا للسنوات الإثنتي عشرة التالية، مدعومًا بتمويلات مؤقتة كان يجب تجديدها دوريًا. لم يكن عليه أن يقوم بالتدريس إذا لم يكن يرغب في ذلك – لكنه لم يتم تثبيته كأستاذ أيضًا. اكتشف أول فكرة جيدة حول كيفية توحيد الجاذبية والقوى الأخرى، لكن كما يظهر ظل من يعملون في كالتيك غير مقتنعين بأنه ينتمي إلى هيئتهم الدائمة.

لا شك أن المبتكرين الأصليين لنظرية الأوتار دفعوا الكثير من أجل اكتشافاتهم الرائدة. ولتقدير نوعية هؤلاء الأشخاص، يجب على القارئ أن يفهم ما يعنيه ذلك بتعبيرات واقعية. الأصدقاء الذين كانوا في صحبتك في كلية التخرج هم الآن بروفيسورات كاملون ذوو مكانة. يحصلون على مرتبات جيدة، وضمان عمل، ويدعمون الأسر بسهولة. لديهم مراكز ذات منزلة رفيعة في جامعة الصفوة. وأنت لا شيء لديك. في داخلك، تعلم أنهم اتخذوا طريقًا سهلاً، بينما فعلت أنت شيئًا من المفترض أنه أكثر أهمية، واحتاج إلى المزيد من الإبداع والشجاعة. لقد اتبعوا القطيع وفعلوا ما يتفق مع الموضة، وأنت اكتشفت نوعًا جديدًا من النظريات. لكنك لا تزال منخرطًا في الدراسة الأكاديمية أو باحثًا مشاركًا أو أقل من بروفيسور ليس لديك ضمان عمل طويل المدى ولديك فرص غير مؤكدة. ومع ذلك قد تكون أكثر نشاطًا كعالم – تنشر أبحاثًا أكثر وتشرف على طلاب أكثر – من أولئك الذين حصلوا على جوائز عن أعمالهم ذات الاتجاهات الأقل مغامرة ولديهم ضمانات أكثر.

الآن، أيها القارئ، اسأل نفسك عن ما يمكنك فعله في هذا الموقف.

ظل جون شوارز يعمل في نظرية الأوتار، واستمر في اكتشاف أدلة على أنها قد تكون نظرية توحيد للفيزياء. ورغم أنه لم يستطع إثبات أن النظرية كانت متسقة رياضيًا، كان متأكدًا من أنه في طريقه لاكتشاف شيء ما(*).

(*) تكون النظرية متسقة رياضيًا عندما لا تعطي أبدًا نتيجتين تتناقضان مع بعضهما. المتطلب الأساسي المرتبط بذلك هو أن كل النوعيات الفيزيائية التي تصفها النظرية تتضمن أعدادًا محدودة.

حتى باعتباره أول عالم نظريات للأوتار يواجه عقبات جبارة، كان في استطاعتهم إلهام أنفسهم بالتفكير في كل الألغاز التي يمكن حلها لو أن الجسيمات الأولية كانت تذبذبات لأوتار. وهي قائمة لافتة للانتباه إلى حد ما:

١- تتيح لنا نظرية الأوتار توحيدًا تلقائيًا لكل الجسيمات الأولية، وتوحد أيضًا بين القوى وبعضها البعض. كل شيء يأتي من تذبذبات نوع أساسي واحد من الشيء.

٢- تتيح لنا نظرية الأوتار تلقائيًا مجالات قياس، وهي المسئولة عن الكهرومغناطيسية والقوى النووية. وتظهر تلك بشكل طبيعي من تذبذبات أوتار مفتوحة.

٣- تتيح لنا نظرية الأوتار تلقائيًا جرافيتونات، التي تأتي من تذبذبات أوتار مغلقة، وعلى أي نظرية كمية للأوتار أن تتضمن أوتارًا مغلقة. وبالتالي، نحصل، مجانًا، على توحيد تلقائي للجاذبية والقوى الأخرى.

٤- توحد نظرية الأوتار الفائقة بين البوزونات والفرميونات، وكلاهما مجرد تذبذب أوتار، وبذلك توحد كل القوى مع كل الجسيمات.

يضاف إلى ذلك، بينما قد يكون التماثل الفائق صحيحا حتى لو أن نظرية الأوتار غير صحيحة، تتيح نظرية الأوتار مكانة طبيعية للتماثل الفائق أكثر بكثير من نظريات الجسيمات العادية. بينما الأنواع فائقة التماثل من النموذج المعياري كانت قبيحة ومعقدة، تعتبر نظريات الأوتار فائقة التماثل أشياء بالغة الأناقة.

يضاف إلى كل ذلك، أنجزت نظرية الأوتار بلا جهد توحيدًا طبيعيًا لقوانين الحركة مع القوانين التي تحكم القوى.

هنا من ثم الحلم الذي يبدو أن نظرية الأوتار تجعله ممكنًا. كل النموذج المعياري، بأنواعه الاثنى عشر من الكواركات واللبتونات وقواها الثلاث، إضافة إلى الجاذبية، يمكن توحيدها، بمعنى أن كل هذه الظواهر تأتي من تذبذبات الأوتار التي تتمدد في الزمكان، متبعة أبسط قانون ممكن: أن المساحة أقل ما يمكن. يمكن تقليص كل ثوابت النموذج المعياري إلى مجموعة ثوابت جاذبية لنيوتن وعدد واحد بسيط، وهو احتمال تحطيم وتر إلى اثنين وتوصيله. وحتى العدد الثاني غير أساسي لكنه خاصية للبيئة.

بمعرفة أن نظرية الأوتار تعد بالكثير جدًا، ليس من المفاجئ أن شوارز والقلة التي تساعده كانوا مقتنعين بأنها يجب أن تكون صحيحة. مادام الأمر يتعلق بمشكلة التوحيد، لا تقدم أية نظرية أخرى الكثير على أساس فكرة بسيطة واحدة. في مواجهة هذا الوعد، يبقى سؤالان فقط: هل هي ناجحة؟ وما التكلفة؟

في ١٩٨٣، بينما كنت لا أزال منخرطًا في الدراسة الأكاديمية في معهد الدراسة المتقدمة في برنستون، تمت دعوة جون شوارز لإلقاء محاضرتين عن نظرية الأوتار في جامعة برنستون. لم أكن قد سمعت الكثير عن نظرية الأوتار من قبل، وما أتذكره من حلقته الدراسية هو رد الفعل القوى والمنفعل لجمهور المستمعين، يغذيه جانبا الاهتمام والشكية. غالبًا ما

كان إدوارد ويتين Edward Witten، وقد كان بالفعل شخصية مشهورة مهيمنة في فيزياء الجسيمات الأولية، يقاطع، طارحًا سلسلة من الأسئلة المثابرة الصعبة. اعتبرت ذلك إشارة إلى الشكية، ولم يحدث إلا لاحقًا أن رأيت أنه كان إشارة على اهتمامه الكبير بالموضوع. كان شوارز واثقًا من نفسه، لكن كان هناك القليل من العناد. كان لدى انطباع بأنه قضى الكثير من السنوات محاولاً إظهار اهتمامه بنظرية الأوتار. أقنعتني هذه المحاضرة بأن شوارز كان عالمًا شجاعًا، لكنها لم تقنعني بالعمل في نظرية الأوتار. في ذلك الوقت، كان كل من عرفتهم يتجاهلون النظرية الجديدة ويواصلون العمل في مشروعاتهم المتنوعة. قلة منا أدركت أننا كنا نعيش في الأيام الأخيرة للفيزياء كما كنا نعرفها دائمًا.

٨

ثورة الأوتار الفائقة

الأولى

حدثت ثورة الأوتار الفائقة الأولى في خريف ١٩٨٤. قد يبدو وصفها بأنها ثورة ادعاء إلى حد ما، لكن الكلمة في محلها. قبل ذلك بستة أشهر، كانت حفنة فقط من علماء الفيزياء البواسل يعملون في نظرية الأوتار. كان الجميع يتجاهلونهم باستثناء قلة من الزملاء. وكما أخبرني جون شوارز، كان هو ومتعاون جديد، عالم الفيزياء الإنجليزي ميشيل جرين Michael Green، "قد نشرنا أبحاثًا قليلة تمامًا وفي كل مرة كنت بالغ الاهتمام بالنتائج .... في كل حالة، شعرنا بأن الناس قد يهتمون بالأمر الآن، حيث يمكنهم رؤية مدى الإثارة التي كان عليها الموضوع. لكن ظل هناك مجرد انعدام لرد الفعل"[١]. بعد ذلك بستة أشهر، كان العديد من نقاد نظرية الأوتار يعملون على الموضوع بصراحة. في الجو الجديد، كان الأمر يحتاج إلى شجاعة لكي لا تترك ما تفعله وتتبعهم.

كانت نقطة الانقلاب هي حساب أنجزه شوارز وجرين قدم دليلاً قويًا على أن نظرية الأوتار كانت نظرية محددة ومتسقة. وبشكل أكثر دقة بقليل، ما نجحوا في توضيحه في النهاية كان أن انحرافًا مرضيًا خطيرًا معينًا يصيب الكثير من نظريات التوحيد، ويسمى شذوذًا، غير موجود في نظرية الأوتار فائقة التماثل، على الأقل في عشرة أبعاد للزمكان[٢]. أتذكر أن الاستجابة لهذا البحث كانت صادمة ومبهجة: صادمة لأن بعض الأشخاص كان لديهم شك في أن نظرية الأوتار يمكن على الإطلاق جعلها متسقة مع ميكانيكا الكم عند أي مستوى، ومبهجة لأنه بإثبات أنهم مخطئون، كان جرين وشوارز قد فتحا احتمال أن نظرية توحيد الفيزياء النهائية أصبحت في متناول اليد.

لم يكن لأي تغير أن يحدث أسرع من ذلك. وكما يتذكر شوارز الأمر، حتى قبل أن ننتهي من كتابته، تلقينا مكالمة هاتفية من إد ويتين يقول إنه سمع ...أن لدينا نتيجة في إلغاء الشذوذات. وسأل ما إذا كان في استطاعتنا أن نعرض عليه عملنا. ومن ثم كانت لدينا مسودة لمخطوطتنا عند هذه النقطة، وأرسلناها له بفيدكس FedEx. لم يكن يوجد بريد إلكتروني حينئذ، لم يكن موجودًا، لكن فيدكس كان موجودًا. لذلك أرسلناها له، ووصلت إليه في اليوم التالي. وعرفنا أنه في اليوم التالي كان الجميع في جامعة برنستون وفي معهد الدراسة المتقدمة، كل علماء الفيزياء النظرية، وكان هناك عدد كبير منهم، يعملون في هذا الموضوع... لذلك أصبح في الليل هو الصناعة الأساسية

[ضحك]، على الأقل في برنستون – وفي وقت قريب جدًا في بقية العالم. كان نوعًا غريبًا، لأنه بالنسبة للكثير جدًا من السنوات كنا ننشر نتائجنا ولم يهتم بها أحد. عندئذ في مفاجأة كاملة كان الجميع مهتمين إلى أقصى حد. وانتقل الأمر من الطرف الأقصى إلى الطرف الآخر: الطرف الأقصى الذي لم يأخذه أحد بشكل جاد، إلى الطرف الأقصى الآخر....[٣]

وعدت نظرية الأوتار بما لم تعد به أية نظرية من قبل – نظرية كمية للجاذبية تعتبر هي أيضًا توحيدًا حقيقيًا للقوى والمادة. بدا أنها تقدم، في ضربة واحدة شجاعة وجميلة، حلاً لثلاث على الأقل من خمس مشكلات في الفيزياء النظرية. بذلك، وفجأة، بعد الكثير جدًا من حالات الفشل، أصبحت لدينا ثروة طائلة. (من المسلي ملاحظة أن شوارز تمت ترقيته دون توان من مشارك باحث أعلى إلى بروفيسور على أعلى درجة في كالتيك).

يعطينا توماس كون Thomas Kuhn، في كتابه الشهير "بنية الثورات العلمية"، طريقة جديدة للتفكير في الأحداث في تاريخ العلم التي نظنها ثورات. تبعًا لكون، تكون الثورة العلمية مسبوقة بتراكم شذوذات تجريبية. نتيجة لذلك، يبدأ الناس في الشك في النظرية الراسخة. تبتكر قلة نظريات بديلة. تكتمل الثورة في نتائج تجريبية تفضل أحد البدائل الجديدة عن النظرية الراسخة القديمة[٤]. من الممكن معارضة وصف كون للعلم، وسوف أفعل ذلك في الجزء الأخير من الكتاب. لكن حيث إنه يصف ما حدث في بعض الحالات، فإن ذلك يخدم كنقطة مفيدة للمقارنة.

لا تتبع أحدث ١٩٨٤ بنية كون. لم تكن هناك أبدًا نظرية راسخة تتعامل مع المشاكل التي تتعامل معها نظرية الأوتار. ولم تكن هناك أية شذوذات تجريبية، وكان النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات والنسبية العامة معًا كافيين لتفسير نتائج كل التجارب التي أجريت حتى ذلك الوقت. ومع ذلك، كيف لا يمكن تسمية هذا ثورة؟ فجأة كان لدينا منافس جيد لنظرية نهائية يمكنها تفسير الكون وموقعنا فيه.

بعد أربع أو خمس سنوات من ثورة الأوتار الفائقة في ١٩٨٤، كان هناك الكثير من التقدم، ونما بشكل سريع الاهتمام بنظرية الأوتار. كانت أكثر المباريات سخونة في المدينة. أولئك الذين دخلوا فيها انغمسوا فيها بطموح وفخر. كان هناك الكثير من الأدوات التقنية الجديدة التي يجب تعلمها، لذلك فإن العمل في نظرية الأوتار كان يتطلب استثمار بضعة أشهر إلى عام، وهو ما يعتبر وقتًا طويلاً بالنسبة لعالم فيزياء نظري. وأولئك الذين عملوا فيها ترفعوا على من لم يفعل ذلك، أو (وتلك هي الصورة الموحية) لم يستطيعوا. وبسرعة تطور جو شبه طائفي تقريبًا. كنت إما عالم نظريات لنظرية أوتار أو لست كذلك. قلة منا حاولت المحافظة على مقاربة الفطرة السليمة: ها هي فكرة مثيرة، سوف أعمل فيها بعض الوقت، لكنني سأتابع أيضًا الاتجاهات الأخرى. كان من الصعب ترسيخ ذلك، لأن أولئك الذين قفزوا إلى هذا المجال لم يكونوا يهتمون كثيرًا بالحديث مع أولئك المنتمين إلينا الذين لم يعلنوا عن أنفسهم باعتبارهم جزءًا من الموجة الجديدة.

باعتبارها مناسبة للمجال الجديد، على الفور كانت هناك مؤتمرات أكاديمية حول نظرية الأوتار. وكان لها جو إعلان الانتصار. كان هناك شعور بأن النظرية الصحيحة الوحيدة قد تم اكتشافها. لم يكن أي شيء آخر مهم أو يستحق التفكير فيه. تم تكريس حلقات بحث لنظرية الأوتار التي نمت في الكثير من الجامعات ومعاهد الأبحاث المهمة. في هارفارد، أُطلق على حلقة البحث عن نظرية الأوتار حلقة بحث فيزياء ما بعد الحداثة.

لم تكن هذه التسمية مقصودة بشكل ساخر. أحد الأمور التي كان من النادر مناقشتها في حلقات البحث حول نظرية الأوتار كان كيفية اختبار النظرية تجريبيًا. بينما كان لدى قلة من الأشخاص قلق تجاه ذلك، كان هناك آخرون يرون أنه لم يكن ضروريًا. كان الشعور أنه يمكن أن تكون هناك فقط نظرية متسقة واحدة فقط توحد كل الفيزياء، ومن ثم بدا أن نظرية الأوتار تفعل ذلك، وعليها أن تكون صحيحة. لم يكن هناك المزيد من الاعتماد على التجربة لفحص نظرياتنا. كان هذا جوهر جاليليو. والرياضيات كانت كافية الآن لاستكشاف قوانين الطبيعة. لقد دخلنا فترة فيزياء ما بعد الحداثة.

بسرعة كبيرة، أدرك علماء الفيزياء أن نظرية الأوتار ليست فريدة من نوعها على أي حال. وبدلاً عن نظرية متسقة واحدة، ما أسرع ما اكتشفنا أن هناك خمس نظريات أوتار فائقة متسقة في الزمكان ذي الأبعاد العشرة. أدى هذا إلى ظهور لغز لم يتم حله طوال العشر سنوات التالية أو ما يقرب من ذلك. ويبقى أن تلك لم تكن أخبارا سيئة تمامًا. تذكر أن نظرية كالوزا-كلين

كان لها مشكلة فتاكة: أن الأكوان التي تصفها متماثلة إلى حد كبير، وتفشل في التوافق مع حقيقة أن الطبيعة ليست هي نفسها عندما تُرى في مرآة. كان في استطاعة بعض من نظريات الأوتار الفائقة الخمس تجنب هذا المصير ووصف العوالم باعتبارها لا متماثلة مثل عالمنا الخاص. وكان هناك المزيد من التطورات التي تثبت أن نظرية الأوتار محدودة (أي، أنها تعطي عددًا محدودًا كتنبؤات لنتيجة أي تجربة). في الوتر البوزوني، بدون فرميونات، من السهل توضيح عدم وجود تعبيرات لانهائية تتشابه مع تلك الخاصة بنظرية الجرافيتونات، لكن عندما تحسب الاحتمالات بدرجة دقة أعلى، قد تظهر اللانهائيات، التي ترتبط بعدم توازن التاكيونات. حيث إنه ليس في الوتر الفائق أية تاكيونات، فإن هذا يطرح احتمال عدم وجود لانهائيات في النظرية.

كان من السهل إثبات ذلك، إلى درجة منخفضة من التقريب. فوق ذلك، كانت هناك حجج حدسية بأن النظرية يجب أن تكون محدودة إلى كل درجة تقريب. أتذكر عالم نظرية أوتار بارز يقول إنه كان من الواضح جدًا أن نظرية الأوتار محدودة حتى إنه لم يكن عليه دراسة برهان حتى لو كان هناك برهان. لكن بعض الأشخاص قاموا بمسعى لإثبات محدودية نظرية الأوتار تتخطى أكثر التقريبات انخفاضًا. أخيرًا، في ١٩٩٢، نشر ستانلي ماندلستام Stanley Mandelstam، عالم الفيزياء الرياضي الذي يلقى احترامًا كبيرًا في بيركلي، بحثًا كان يُعتقد بأنه يثبت أن نظريات الأوتار الفائقة محدودة لكل درجات مخطط تقريب معين(٥).

لم يكن الأشخاص المثيرون للإعجاب على هذه الدرجة من التفاؤل. تخطى وعد نظرية الأوتار بشكل هائل أي نظرية توحيد كان قد تم اقتراحها حتى الآن. في نفس الوقت، استطعنا رؤية أنه لا يزال هناك طريق طويل علينا اجتيازه لإنجاز كل هذا الوعد. على سبيل المثال، انظر إلى مشكلة تفسير ثوابت النموذج المعياري. نظرية الأوتار، كما تمت ملاحظته في الفصل السابق، لها ثابت واحد يمكن تعديله يدويًا. لو أن نظرية الأوتار صحيحة، يجب تفسير الثوابت العشرين للنموذج المعياري قياسًا بهذا الثابت الواحد. قد يكون من المثير للعجب وتعجز الكلمات عن التعبير عنه لو أن كل هذه الثوابت يمكن حسابها كدوال للثابت الواحد في نظرية الأوتار – انتصار أكبر من أي انتصار آخر في تاريخ العلم. لكننا لم نكن قد وصلنا إلى ذلك بعد.

فوق ذلك كان السؤال، كما ناقشناه سابقًا، الذي يجب طرحه دائمًا حول نظريات التوحيد. كيف يتم تفسير الاختلافات الواضحة بين الجسيمات والقوى الموحدة؟ توحد نظرية الأوتار بين كل الجسيمات والقوى، مما يعني أنها يجب أن تفسر لنا أيضًا سبب اختلافها.

لذلك يحدث أن نصل، كما تكون الأمور دائمًا، إلى التفاصيل. هل تنجح النظرية حقًا، أم أن هناك أمرا مبهما يقلل من شأن هذه المعجزة؟ لو أنها ناجحة، كيف تمثل مثل هذه النظرية البسيطة الكثير جدًا؟ ما الذي علينا تصديقه حول الطبيعة لو أن نظرية الأوتار صحيحة؟ وما الذي نفقده، إذا كنا سنفقد أي شيء، في هذه العملية؟

كلما تعلمت المزيد حول النظرية، بدأت أفكر في التحديات التي تضعها فيما يشبه إلى حد كبير تلك التي نواجهها عندما نشتري سيارة جديدة. تذهب إلى البائع بقائمة من الاختيارات التي ترغب فيها. يتم عرض العديد من الطرازات. بعد القليل من الوقت، تدرك أن كل سيارة تم عرضها عليك لها بعض الاختيارات غير الموجودة في قائمتك. ترغب في مكابح مضادة للتثبت وتجهيزات صوتية جيدة بالفعل لها مشغل أسطوانات مدمجة. ويكون للسيارات التي يتوافر فيها ذلك أسقف متحركة، وواقيات صدمة كروم متقنة، وأغطية محاور عجلات من التيتانيوم، وثماني حاملات أكواب، وشارات سباق حسب الطلب.

هذا ما يعرف برزمة الصفقة. يتضح أنك لا يمكنك الحصول على سيارة بالاختيارات التي ترغب فيها وحدها. عليك أن تحصل على رزمة من الاختيارات، التي تتضمن أشياء لا ترغب فيها أو لا تحتاجها. هذه الأشياء الإضافية ترفع السعر بعض الشيء، لكن ليس هناك خيار. لو كنت ترغب في مكابح مضادة للتثبت ومشغل أسطوانات مدمجة، عليك أن تأخذ الرزمة كلها.

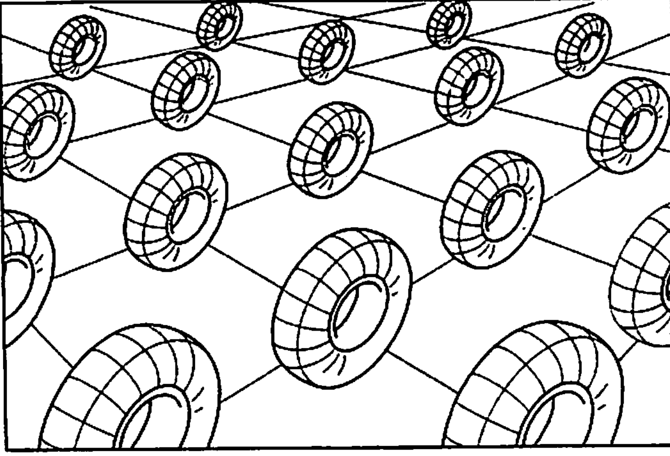
يبدو، أيضًا، أن نظرية الأوتار يتم عرضها فقط كصفقة رزمة. قد ترغب في نظرية توحيد بسيطة لكل الجسيمات والقوى، لكن ما تحصل عليه يتضمن بضع سمات إضافية، على الأقل اثنان منها غير قابلين للتفاوض.

الأولى هي التماثل الفائق. كانت هناك نظريات أوتار بدون تماثل فائق، لكن عُرف عنها جميعًا أنها كانت غير متزنة، بسبب وجود هذه التاكيونات المزعجة. يبدو أن التماثل الفائق يقضي على التاكيونات، لكن كان هناك عطل ما. يمكن لنظرية الأوتار فائقة التماثل أن تكون متسقة فقط لو أن للكون تسعة أبعاد للمكان. لم يكن هناك بديل لنظرية تعمل في المكان ذي الأبعاد الثلاثة. لو رغبت في سمات أخرى، عليك أن تحصل على بديل في الأبعاد الإضافية الستة. الكثير ينبع من ذلك. لو أن النظرية لم يتم استثناؤها بعيدًا، سيكون هناك طريقة لإخفاء الأبعاد الإضافية. يبدو أنه ليس هناك اختيار سوى انحنائها بحيث تكون بالغة الصغر بحيث لا يمكن إدراكها. هكذا كنا مرغمين على إحياء الأفكار الرئيسية لنظريات المجال الموحد القديمة.

أدى هذا إلى ظهور فرص كبيرة، ومشاكل كبيرة. كما رأينا، كانت المحاولات المبكرة لاستخدام أبعاد أكثر لتوحيد الفيزياء قد فشلت، لأنه كان هناك الكثير جدًا من الحلول، وأدى تقديم أبعاد أكثر إلى مشكلة ضخمة في عدم انعدام النظير. وأدى أيضًا إلى مشاكل حالات عدم الاتزان، بسبب وجود عمليات تتفكك من خلالها هندسة الأبعاد الإضافية وتُصبح كبيرة وعمليات أخرى تنهار من خلالها إلى مفردة. لو كان على نظرية الأوتار أن تنجح، لكان عليها حل هذه المشاكل.

أدرك علماء نظرية الأوتار أن مشكلة عدم انعدام النظير كانت سمة أساسية في نظرية الأوتار. لم تكن هناك ستة أبعاد إضافية لتلتف، وكانت هناك طرق كثيرة لعمل ذلك. أغلبها تضمن مكانا من ستة أبعاد معقدة، وكل

منها أدى إلى ظهور نوع مختلف من نظرية الأوتار. ولأن نظرية الأوتار نظرية تعتمد على الخلفية، كان ما فهمناه حولها عند مستوى تقني هو أنها تقدم لنا وصفًا لحركة الأوتار في هندسات ذات خلفية ثابتة. باختيار هندسات ذات خلفيات مختلفة، نحصل على نظريات مختلفة تقنيًا. وهي تأتي من نفس الفكرة، وتم تطبيق نفس القانون في كل حالة. لكن، بصراحة، كان كل منها نظرية مختلفة.



الشكل ٧: قد يكون للأبعاد الخفية حالات طوبولوجيا مختلفة. في هذا المثال، هناك بعدان مختفيان، ولهما طوبولوجيا كعكة الدونت.

ليس هذا مجرد إظهار فروقات صغيرة. كانت التنبؤات الفيزيائية التي تعطيها كل هذه النظريات المختلفة مختلفة، أيضًا. أغلب حالات المكان ذي الأبعاد الستة تم وصفها بقائمة من الثوابت، والتي كان من الممكن تعيينها بحرية. أشار ذلك إلى السمات المختلفة للهندسة، مثل أحجام الأبعاد الإضافية.

قد تحتوي نظرية الأوتار النموذجية على مئات من هذه الثوابت. وهذه الثوابت جزء من وصف كيفية تضاعف الأوتار وتفاعلها مع بعضها البعض.

فكر في شيء ما له سطح ذو بعدين، مثل الكرة. لأنه كروي تمامًا، يتم وصفه ببارامتر واحد، هو محيط الدائرة. لكن تخيل الآن سطحًا أكثر تعقدًا، مثل كعكة الدونت (انظر الشكل ٧). يتم وصف هذا السطح بعددين. هناك دائرتان تحيطان بكعكة الدونت بطريقتين مختلفتين، ويمكن أن يكون لهما محيط دائرة مختلف.

يمكننا تخيل أسطح أكثر تعقيدًا، فيها فجوات كثيرة. وتحتاج إلى المزيد من الأرقام لوصفها. لكن لا أحد (على الأقل، لا أحد أعرفه) يمكنه أن يتصور مباشرة مكانا ذا أبعاد ستة.

مع ذلك، لدينا أدوات لوصف هذه الأبعاد، أدوات تستخدم نظائر فجوات قد توجد في كعكة الدونت والأسطح الأخرى ذات البعدين. وأكثر من لف وتر حول فجوة، نلف مكانًا ذا أبعاد أكثر حولها. في كل حالة، سيكون للمكان الذي يتم لفه حجمًا، ويصبح هذا ثابتًا يصف الهندسة. عندما نحقق حركة الأوتار في الأبعاد الإضافية، تظهر كل هذه الثوابت الإضافية. لذلك لا يظل هناك ثابت واحد فقط، ويكون هناك عدد كبير من الثوابت.

هكذا تحل نظرية الأوتار المأزق الأساسي الذي يواجه محاولات توحيد الفيزياء. حتى لو أتي كل شيء من مبدأ بسيط، عليك تفسير كيفية ظهور تنويعة من الجسيمات والقوى. في أبسط الاحتمالات، حيث يكون للمكان

تسعة أبعاد، تكون نظرية الأوتار بسيطة جدًا، كل الجسيمات من نوع واحد تكون متطابقة. لكن عندما يُسمح للأوتار بالحركة في الهندسة المعقدة للأبعاد الستة الإضافية، يظهر الكثير من الأنواع المختلفة من الجسيمات، مترافقة بطرق مختلفة للتحرك والتذبذب في كل بعد إضافي.

هكذا نحصل على تفسير طبيعي للاختلافات الواضحة بين الجسيمات، وهو أمر يجب أن تفعله نظرية توحيد جيدة. لكن هناك تكاليف، وهي أنه يتضح أن النظرية بعيدة عن أن تكون فريدة من نوعها. ما يحدث هو مقايضة ثوابت: الثوابت التي تدل على كتل الجسيمات وشدة القوى يتم مقايضتها من أجل ثوابت تدل على هندسة الأبعاد الستة الإضافية. لذلك يكون من الأقل إثارة للدهشة العثور على ثوابت تفسر النموذج المعياري.

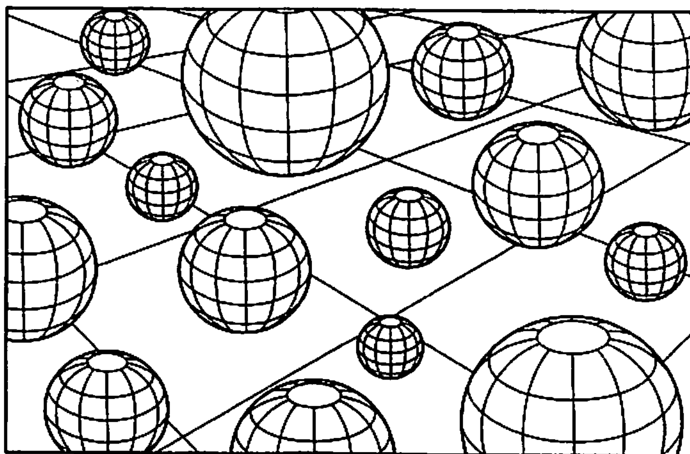
وإن كان الأمر كذلك، قد يكون هذا المخطط مقنعًا لو أنه أدى إلى تنبؤات فريدة لثوابت النموذج المعياري. لو أنه بترجمة ثوابت النموذج المعياري إلى ثوابت تدل على هندسة أبعاد إضافية، وجدنا شيئًا ما جديدا عن ثوابت النموذج المعياري، ولو أن هذه النتائج اتفقت مع الطبيعة، لكان هذا دليلا مؤسسا بشكل قوى على أن نظرية الأوتار يجب أن تكون صحيحة.

لكن ليس هذا ما حدث. الثوابت التي يمكن أن تتغير بحرية في النموذج المعياري تم ترجمتها إلى هندسات يمكن أن تتغير بحرية في نظرية الأوتار. لم يكن هناك شيء مقيد أو متقلص. ولأنه كان هناك عدد كبير من الاختيارات لهندسة الأبعاد الإضافية، فإن عدد الثوابت الحرة تصاعد، ولم ينخفض.

يضاف إلى ذلك، لم تتم إعادة إنتاج بشكل كامل للنموذج المعياري. من الصحيح أننا نستطيع استنتاج السمات العامة، مثل وجود فرميونات ومجالات قياس. لكن التجميعات المضبوطة التي تتم رؤيتها في الطبيعة لا تأتي من المعادلات.

من هنا أصبح الأمر أسوأ. كل نظريات الأوتار تنبأت بجسيمات إضافية – جسيمات لا تتم رؤيتها في الطبيعة. ومعها أتت قوى إضافية. أتى بعض من هذه القوى الإضافية من التغيرات في هندسة الأبعاد الإضافية. فكر في كرة متصلة بكل نقطة في المكان، كما في الشكل ٨. نصف قطر الكرة يمكن أن يتغير ونحن نتحرك حولها في المكان.

لذلك فإن نصف قطر كل كرة يمكن رؤيته كخاصية للنقطة التي تتصل بها. أي، الأمر يشبه مجالاً. بالضبط مثل المجال الكهرومغناطيسي، كل المجالات تنتشر في المكان والزمن، ويؤدي ذلك إلى ظهور قوى إضافية. هذا أمر بارع، لكن كان هناك خطر ألا تتفق هذه القوى الإضافية مع الملاحظة.



الشكل ٨: يمكن لهندسة الأبعاد الخفية أن تتغير في المكان والزمن. في هذا المثال، تتغير أنصاف أقطار الكرات.

كنا نتكلم عن العموميات، لكن هناك عالما واحدا. لو أنه كان على نظرية الأوتار أن تنجح، لم تكن لتشكل فقط نموذجًا للعوالم الممكنة ولكن كان عليها أيضًا أن تفسر عالمنا. كان السؤال المهم، من ثم: هل هناك طريقة لالتفاف الأبعاد الستة الإضافية بحيث يتم الإنتاج الكامل للنموذج المعياري لفيزياء الجسيمات؟

إحدى الطرق أن يكون هناك عالم بتماثل فائق. بينما يكون لنظرية الأوتار تماثل فائق، اتضح أن كيفية ظهور هذا التماثل على وجه الدقة في عالمنا ذي الأبعاد الثلاثة اعتمد على هندسة الأبعاد الإضافية. يمكن ترتيبها بحيث يبدو التماثل الفائق محطما في عالمنا. أو قد تكون الحالة أنه كان هناك تماثل فائق أكثر بكثير مما يمكن استيعابه في نظرية جديرة بالاعتبار.

لذلك ظهرت مشكلة مثيرة: هل يمكن اختيار هندسة ستة أبعاد إضافية للحصول بالضبط على الكمية الصحيحة للتماثل الفائق؟ هي يمكننا ترتيبها بحيث يكون لعالمنا ذي الأبعاد الثلاثة نسخة من فيزياء الجسيمات توصف بواسطة أنواع فائقة التماثل من النموذج المعياري؟

تم حل هذه المسألة في ١٩٨٥ في بحث بالغ الأهمية، كتبه أربعة من علماء نظرية الأوتار: فيليب كانديلاس Philip Candelas، وجاري هوروفيتز Gary Horowitz، وأندرو سترومنجر Andrew Strominger، وإدوارد ويتين[٦]. كانوا محظوظين، لأن عالمي رياضيات، أوجينيو كالابي Eugenio Calabi وشينج-تانج ياو Shing-tung Yau، كانا قد حلا بالفعل مسألة رياضية

تعطي الإجابة. كانا قد اكتشفا ودرسا النوع الجميل بشكل خاص لهندسة ذات أبعاد ستة التي يُطلق عليها الآن فضاءات كالابي-ياو. استطاع علماء نظرية الأوتار الأربعة توضيح أن الشروط الضرورية لكي ينتج عن نظرية أوتار نسخة من نموذج معياري فائق التماثل كانت هي نفس الشروط التي تحدد فضاء كالابي-ياو. ثم اقترحوا أن الطبيعة يتم وصفها بنظرية أوتار حيث يتم اختيار الأبعاد الستة الإضافية لكي تكون فضاء كالابي-ياو. خفض ذلك من الاحتمالات وأعطى النظرية المزيد من البنية. على سبيل المثال، أوضحوا بجلاء كيف يمكنك مقايضة الثوابت في النموذج المعياري، بحيث تكون الثوابت التي تحدد كتل الجسيمات المختلفة، بثوابت تصف هندسة فضاء كالابي-ياو.

كان ذلك تقدمًا كبيرًا. لكن كانت هناك مشكلة كبيرة أيضًا. لو أنه كان هناك فقط فضاء كالابي-ياو واحد، بثوابت ثابتة، لحصلنا على نظرية التوحيد الفريدة من نوعها التي طالما تقنا إليها. لسوء الحظ، اتضح أن هناك الكثير من فضاءات كالابي-ياو. لم يعرف أحد عددها، لكن ياو نفسه تم الاقتباس منه وهو يقول إن هناك على الأقل مائة ألف. كل من هذه الفضاءات يؤدي إلى ظهور نسخة مختلفة من فيزياء الجسيمات. وكل فضاء يأتي بقائمة من الثوابت الحرة التي تتحكم في حجمه وشكله. لذلك لم يكن هناك انفراد، ولا تنبؤات جديدة، ولم يتم تفسير شيء.

يضاف إلى ذلك، كانت للنظريات التي تتضمن فضاءات كالابي-ياو كمية كبيرة من القوى الإضافية. يتضح أنه مادامت كانت نظرية الأوتار فائقة

التماثل، فإنه سيكون للكثير من هذه القوى نطاق لانهائي. كان هذا سوء حظ، لأن هناك حدود تجريبية صارمة على وجود أي قوة ذات نطاق لانهائي بجانب الجاذبية والكهرومغناطيسية.

وظلت هناك مشاكل أخرى. يمكن للثوابت التي تعطي هندسة الأبعاد الإضافية أن تتغير باستمرار. قد يؤدي هذا إلى ظهور حالات عدم توازن، كما في نظريات كالوزا-كلين القديمة. إذا لم يكن هناك بعض من الآليات الغامضة التي تجمد هندسة الأبعاد الإضافية، تؤدي حالات عدم التوازن هذه إلى كارثة، مثل المفردات الآتية من انهيار الأبعاد الإضافية.

فوق ذلك، حتى لو تم وصف عالمنا بإحدى هندسات كالابي-ياو، لم يكن هناك أي تفسير لكيفية اتخاذه هذا المسار. تأتي نظرية الأوتار في الكثير من النسخ الأخرى بجانب فضاءات كالابي-ياو. كانت هناك نسخ من النظرية حيث عدد الأبعاد الملتفة تتغير من لا شيء صعودًا إلى تسعة.

تلك الهندسات التي لها أبعاد لم تلتف يطلق عليها منبسطة flat، وهي تحدد عوالم تعيش فيها كائنات كبيرة مثلنا. (بالتحقيق في تضمينات لفيزياء الجسيمات، نستطيع تجاهل الجاذبية وعلم الكون، وفي هذه الحالة يكون للأبعاد غير الملتفة هندسة تصفها نظرية مكانية للنسبية).

كانت المائة ألف من النسخ المتعددة لكالابي-ياو هي فقط قمة جبل الجليد العائم. في ١٩٨٦، اكتشف أندرو سترومنجر طريقة لإنشاء عدد هائل من نظريات الأوتار فائقة التماثل الإضافية. سيكون من المفيد أن نبقي في ذاكرتنا ما كتبه في خاتمة بحثه وهو يصف هذه البنية:

صنف حالات دمج الأوتار الفائقة فائقة التماثل توسع بشكل هائل... لم يكن يبدو من المرجح أن [هذه] الحلول... يمكن تصنيفها في المستقبل الذي يمكن التنبؤ به. وحيث إن القيود على [هذه] الحلول ضعيفة نسبيًا، بدا من المرجح أن عدد الحلول المقبولة فينومينولوجيًا... يمكن العثور عليه... بينما يعتبر ذلك معقولا تمامًا، صُنعت الحياة بمعنى ما بسهولة كبيرة. كل *القوة التنبؤية تبدو مفقودة.*

كل هذا يشير إلى حاجة ماسة للعثور على مبدأ ديناميكي لتحديد [أي نظرية هي التي تصف الطبيعة]، وهو ما يبدو الآن إجباريا أكثر من أي وقت[٧]. (الحروف المائلة من عندي).

هكذا، باتخاذ استراتيجية نظريات الأبعاد الأكثر الأقدم، تعهدت نظرية الأوتار بمشاكلها أيضًا. كانت هناك كميات كبيرة من الحلول، وقلة منها أدت إلى ظهور وصف لشيء يشبه على وجه التقريب العالم الواقعي، لكن الغالبية لم تكن كذلك. كانت هناك كميات كبيرة من حالات عدم الاتزان، والتي أظهرت نفسها في كميات كبيرة من القوى والجسيمات الإضافية.

وكان محتوما على ذلك أن يخلق جدالاً، وهو ما فعله. قلة كان في استطاعتها الموافقة على أن قائمة السمات الجيدة كانت طويلة ولافتة للانتباه. وبدا بالفعل أن فكرة الجسيمات كذبذبات لأوتار كانت هي الرابطة المفقودة التي يمكنها أن تعمل بقوة لحل الكثير من المشاكل المفتوحة. لكن الثمن كان باهظًا. السمات الإضافية التي كان علينا شراؤها استبعدت بعضا من جمال

الاقتراح الأصلي – على الأقل بالنسبة لقلة منا. وجد آخرون أن هندسة الأبعاد الإضافية هي أجمل شيء في النظرية. لا غرو أن علماء النظريات قد انحازوا إلى أحد الفريقين.

أولئك الذين صدقوا مالوا إلى الاعتقاد بصحة الرزمة كاملة. وأعرف الكثير من علماء الفيزياء الذين كانوا متأكدين من أن التماثل الفائق والأبعاد الإضافية موجودة، تنتظر اكتشافها. عرفت كثيرين ممن تقاعسوا عن العمل عند هذه النقطة، لأن هذا كان يعني قبول الكثير جدًا مما لم يكن له أساس في التجربة.

من بين المتحولين كان ريتشارد فينمان، الذي شرح إحجامه عن مجاراة الاهتياج كما يلي:

لم أحب أنهم لم يكونوا يحسبون أي شيء. لم أحب أنهم لم يفحصوا أفكارهم. لم أحب أنه أمام أي شيء لا يتفق مع تجربة ما، يلفقون تفسيرًا ما– جاهزين للقول "حسنًا، يظل أن هذا قد يكون صحيحًا". على سبيل المثال، تتطلب النظرية عشرة أبعاد. حسنا، قد تكون هناك طريقة لتغطية ستة من الأبعاد. نعم، هذا ممكن رياضيًا، لكن لماذا لا يكونون سبعة. عندما يكتبون معادلاتهم، يجب أن تقرر المعادلة عدد هذه الأشياء التي يتم تغطيتها، وليست المرغوب في أن تتفق مع التجربة. بعبارة أخرى، لا يوجد سبب أيًا كان في نظرية الأوتار الفائقة ألا تكون ثمانية من الأبعاد العشرة هي التي يتم تغطيتها وألا تكون النتيجة هي بعدين فقط، والذي قد يتعارض تمامًا مع التجربة. لذلك

فحقيقة أنها قد لا تتفق مع التجربة ضعيف جدًا، إنها لا تنتج أي شيء، ولا بد من التغاضي عنها طوال الوقت. إنها لا تبدو صحيحة[٨].

كان يشاركه في هذه المشاعر الكثير من الجيل الأكبر سنًا بين علماء فيزياء الجسيمات، الذي عرفوا أن نجاح نظرية الجسيمات كان يتطلب دائمًا تفاعلاً متواصلاً مع الفيزياء التجريبية. المنشق الآخر كان شيلدون جلاشو، الفائز بجائزة نوبل عن أعماله في النموذج المعياري:

لكن علماء فيزياء الأوتار لم يوضحوا بعد أن نظريتهم ناجحة فعلاً. لا يمكنهم أن يبينوا أن النظرية المعيارية هي نتيجة منطقية لنظرية الأوتار. ولا يستطيعون حتى أن يكونوا متأكدين أن شكليتهم تتضمن وصفًا لأشياء مثل البروتونات والإلكترونات. بل لم يقدموا حتى إلى الآن تنبؤا تجريبيا بالغ الصغر واحدا. والأسوأ من كل شيء، لا تأتي نظرية الأوتار الفائقة كنتيجة منطقية من مجموعة ملحة ما من الافتراضات حول الطبيعة. لماذا، قد تسأل، يصر علماء نظرية الأوتار على أن للمكان تسعة أبعاد؟ ببساطة لأن نظرية الأوتار لا يكون لها معنى في أي نوع آخر من المكان.....[٩]

مع ذلك، بالإضافة إلى الجدال، كانت هناك حاجة واضحة إلى فهم النظرية بشكل أفضل. أي نظرية تأتي في مثل هذه النسخ الكثيرة لا تبدو كنظرية وحيدة. على أي حال، بدت النظريات مثل حلول مختلفة لنظرية ما لا تزال مجهولة.

نحن نعتاد فكرة أن نظرية واحدة لها الكثير من الحلول. تصف قوانين نيوتن كيفية حركة جسيم استجابة لقوى. افترض أننا ثبتنا القوى – على سبيل المثال، نرغب في وصف كرة تم رميها في مجال جاذبية الأرض. لمعادلات نيوتن عدد لانهائي من الحلول، تناظر عدد لانهائي من المسارات التي يمكن للكرة اتخاذها: يمكن رميها إلى أعلى أو إلى أسفل، أسرع أو أبطأ. وكل طريقة لرمي الكرة تعطي مسارًا مختلفًا، كل مسار هو حل لمعادلات نيوتن.

للنسبية العامة أيضًا عدد لانهائي من الحلول المختلفة كل منها زمكان– أي، تاريخ محتمل للكون. حيث إن هندسة الزمكان هوية ديناميكية، يمكن أن توجد في تكوينات لانهائية مختلفة وتتطور إلى أكوان لانهائية مختلفة.

كل خلفية يتم تحديد نظرية أوتار عليها هي حل لمعادلة أينشتاين أو تعميم لها. لذلك، بدأ الناس يرون أن الكتالوج المتنامي لنظريات الأوتار يعني أننا لم نكن ندرس بالفعل نظرية أساسية. ربما ما كنا نفعله هو دراسة حلول لنظرية ما أكثر عمقًا تظل مجهولة. قد نسمي ذلك ما وراء نظرية meta-theory، لأن كلا من حلولها عبارة عن نظرية. وما وراء النظرية هذه هو القانون الأساسي الحقيقي. كل حل لها سيؤدي إلى ظهور نظرية أوتار.

هكذا، قد يكون أكثر إقناعًا لو استطعنا ألا نفكر في نظريات أوتار لانهائية ولكن حلولا لانهائية تظهر من نظرية أساسية واحدة.

تذكر أن كلا من نظريات الأوتار الكثيرة هذه هو نظرية تعتمد على خلفية تصف أوتارًا تتحرك في خلفية زمكان خاصة. حيث إن نظريات

الأوتار التقريبية المختلفة تعيش في خلفيات زمكان مختلفة، فإن النظرية التي توحدها لا يجب أن تعيش في أي خلفية زمكان. ما نحتاج إليه لتوحيدها هو نظرية واحدة مستقلة عن الخلفية. طريقة فعل ذلك كانت من ثم واضحة: ابتكار ما وراء نظرية يمكنها هي نفسها أن تكون مستقلة عن الخلفية، ثم استنتاج كل نظريات الأوتار المعتمدة على خلفية من ما وراء النظرية هذه.

إذن لدينا سببان للبحث عن نظرية كمية للجاذبية مستقلة عن الخلفية. ونحن نعرف بالفعل أن علينا دمج الصفة الديناميكية للهندسة التي تعطيها النظرية النسبية العامة لأينشتاين. ونحتاجها الآن لتوحيد كل نظريات الأوتار المختلفة. ولفعل ذلك هناك حاجة إلى فكرة جديدة لكن، على الأقل في الوقت الراهن، تظل بعيدة عن متناول أيدينا.

أحد الأشياء التي كان من المتوقع أن تقوم بها ما وراء النظرية هو المساعدة في اختيار نوع نظرية الأوتار المتحقق فيزيائيًا. وحيث إنه كان من المعتقد على نطاق واسع أن نظرية الأوتار كانت نظرية التوحيد الفريدة من نوعها، توقع الكثير من علماء النظريات أن أغلب العدد الكبير من المتغيرات قد يكون غير متزن وأن نظرية واحدة متزنة حقًا يمكنها أن تفسر بشكل فريد ثوابت النموذج المعياري.

في وقت ما في أواخر الثمانينيات، حدث أن وجدت احتمالاً آخر. ربما تكون كل نظريات الأوتار صحيحة بدرجة متساوية. قد يتضمن ذلك نوعًا كاملاً من توقعاتنا حول الفيزياء، وبذلك قد يجعل هذا كل خواص الجسيمات

الأولية محتملة – لا يتم تحديدها بقانون أساسي ولكن بأحد الحلول لانهائية العدد لنظرية أساسية. كانت هناك بالفعل مؤشرات على أن هذا الاحتمال قد يحدث في نظريات لها تحطيم ذاتي للتماثل، لكن الأنواع الكثيرة من نظرية الأوتار يفتح الطريق أمام احتمال أنها صحيحة جوهريًا لكل خواص الجسيمات والقوى الأولية.

قد يعني هذا أن خواص الجسيمات الأولية بيئية وقد تتغير مع الزمن. لو أن الأمر كذلك، قد يعني أن الفيزياء قد تشبه أكثر البيولوجيا، وبذلك قد تعتمد خواص الجسيمات الأولية على تاريخ كوننا. قد لا تكون نظرية الأوتار نظرية واحدة، وقد تكون مشهدا من النظريات – يشابه المشاهد الملائمة التي يدرسها علماء البيولوجيا التطورية. بل لعل هناك عملية مثل الانتقاء الطبيعي التي تختار أي نوع يتم تطبيقه على كوننا. (قد تقود الأفكار إلى بحث في ١٩٩٢ بعنوان "هل يتطور العالم"[١٠] وكتاب في ١٩٩٧ يسمى "حياة الكون". وسوف تدور حكايتنا لاحقًا حول هذه الأفكار).

أينما كنت أناقش هذا المبدأ التطوري مع علماء نظرية تطور، كانوا يقولون، "لا تقلق، سيكون هناك نوع فريد من نظرية الأوتار، يختاره مبدأ مجهول حتى الآن. عندما نعثر عليه، سوف يفسر هذا المبدأ على الوجه الصحيح كل بارامترات النموذج المعياري ويؤدي إلى تنبؤات فريدة للتجارب المقبلة".

على أي حال، تباطأ التطور في مجال نظرية الأوتار، ومع التسعينيات كان علماء نظرية الأوتار محبطين. لم تكن هناك صياغة كاملة لنظرية

الأوتار. كل ما كان لدينا هو قائمة من مئات الآلاف من النظريات المتميزة، لكل منها الكثير من الثوابت الحرة. لم تكن لدينا فكرة دقيقة حول النظرية التي تناظر الواقع من بين الكثير من نسخ النظرية. وبينما كان هناك تقدم تقني كبير، لم تظهر أدلة حاسمة تخبرنا بما إذا كانت نظرية الأوتار صحيحة أم خاطئة. والأسوأ أنه لم يتم تقديم أي تنبؤ واحد قد تثبته أو تدحضه تجربة عملية.

كانت هناك أسباب أخرى تجعل علماء نظرية الأوتار محبطين أيضًا. كانت أواخر الثمانينيات جيدة بالنسبة لهذا المجال. فقط بعد ثورة ١٩٨٤، كان لدى مبتكري نظرية الأوتار، مثل جون شوارز، الكثير من الإغراءات من أفضل الجامعات. ولبضع سنوات، كان شباب علماء نظرية الأوتار قد مضوا قدمًا. ولكن مع بداية التسعينيات، كان الوضع قد ساء، ولم يجد الأشخاص الموهوبون من جديد من يعرض عليهم الوظائف.

بعض الأشخاص، الشباب وكبار السن، تركوا هذا المجال في ذلك الوقت. لحسن الحظ، أثبت العمل على نظرية الأوتار أنه تدريب عقلي جيد، وبعض علماء نظرية الأوتار السابقون يزدهرون الآن في نطاقات أخرى، مثل فيزياء الحالة الصلبة، والبيولوجيا، وعلم الأعصاب، والحاسبات والأعمال المصرفية.

لكن آخرين استمروا إلى نهاية الشوط. ورغم كل أسباب الإحباط، لم يفلت الكثير من علماء نظرية الأوتار فكرة أن نظرية الأوتار شكلت مستقبل الفيزياء. لو كانت هناك مشاكل، حسنًا، لم يكن هناك أيضًا أية مقاربة ناجحة

لتوحيد الجسيمات الأولية. كان هناك قلة من الأشخاص يعملون على الجاذبية الكمية، لكن أغلب علماء نظرية الأوتار ظلوا يجهلونهم في سعادة. بالنسبة للكثير منهم، كانت نظرية الأوتار ببساطة هي المباراة الوحيدة في المدينة. حتى لو كانت طريقًا أصعب مما أملوا فيه، لم تعد أية نظرية أخرى بتوحيد كل الجسيمات والقوى وبحل الجاذبية الكمية، كل ذلك في إطار محدود ومتسق.

النتيجة سيئة الحظ كانت أن الفجوة بين المؤمنين بالشكاك تعمقت. كل فريق أصبح أكثر تخندقًا، وبدا أن لدى كلا منهما مبرر لوضعه. وكان الأمر ليستمر على هذا المنوال زمنًا طويلاً، لو لم تحدث تطورات مهمة معينة غيرت جذريًا تقييمنا لنظرية الأوتار.

٩

الثورة رقم اثنين

اقترحت نظرية الأوتار في البداية توحيد كل الجسيمات والقوى في الطبيعة. لكن كما تمت دراستها في العقد التالي لثورة ١٩٨٤، حدث شيء غير متوقع. تمزقت نظرية التوحيد المزعومة إلى نظريات كثيرة مختلفة: نظريات الأوتار الفائقة المتسقة في عشرة أبعاد للزمكان، إضافة إلى ملايين التنويعات في الحالات التي تكون فيها بعض الأبعاد قد التفت. بمرور الزمن، أصبح من الواضح أن نظرية الأوتار نفسها كانت في حاجة إلى توحيد.

الثورة الثانية المثيرة للدهشة، التي انفجرت على المسرح في ١٩٩٥، لم تعطنا سوى ذلك. يتم اعتبار ميلاد الثورة غالبًا على أنها محاضرة ألقاها إدوارد ويتين في شهر مارس ذلك في مؤتمر حول نظرية الأوتار في لوس أنجلوس، حيث اقترح فكرة توحيد. لم يقدم بالفعل نظرية أوتار فائقة توحيدية جديدة، واقترح ببساطة أنها موجودة وأن لها سمات معينة. كان اقتراح ويتين يقوم على سلسلة من المكتشفات الحديثة التي أظهرت وجوه لنظرية الأوتار وجعلت فهمنا لها يزداد. وقام ذلك بمزيد من توحيد نظرية الأوتار مع نظريات القياس والنسبية العامة بعرض حالات اشتراك وعلاقات بينها. هذه

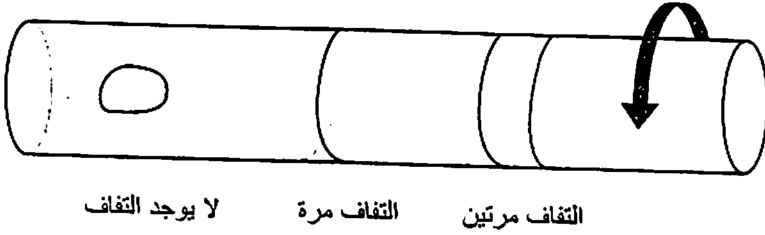
التطورات، والتي كان العديد منها غير مسبوق في تاريخ الفيزياء النظرية، استمال أخيرًا الكثير من الشكاك، بما فيهم أنا. في البداية، بدا أن خمس نظريات أوتار فائقة متسقة تصف العوالم المختلفة، ولكن في منتصف العقد الأخير من القرن العشرين بدأنا نفهم أنها لم تكن مختلفة كما يبدو الأمر.

عندما تظهر طريقتان مختلفتان في النظر إلى نفس الظاهرة، نشير إلى ذلك باعتباره ازدواجية. اسأل زوجين ليقولا لك، كل على حدة، قصة علاقتهما. لن تكون نفس القصة، لكن كل حادث مهم في قصة واحدة سوف يناظر حادث مهم في الأخرى. لو أنك تحدثت معهما وقتًا كافيًا، سيكون في استطاعتك التنبؤ بكيفية الترابط والاختلاف بين القصتين. على سبيل المثال، إدراك زوج للميل على الإصرار لدى زوجته قد يرسم خريطة إدراك الزوجة لمثال لسلبية زوجها. يمكن القول إن الوصفين يتزاوجان مع بعضهما البعض.

بدأ علماء نظرية الأوتار، في جهودهم للربط بين النظريات الخمس ببعضها البعض، الكلام عن أنواع متعددة من التزاوجات. بعض التزاوجات محكمة: أي لا تكون النظريتان مختلفتين بالفعل ولكنهما ببساطة طريقتان لوصف نفس الظاهرة. بعض التزاوجات متقاربة. في هذه الحالات، تكون النظريتان مختلفتين بالفعل، لكن هناك ظواهر في واحدة تتشابه مع ظواهر في الأخرى، مما يؤدي إلى تقاربات حيث يمكن فهم سمات معينة في نظرية ما بدراسة الأخرى.

أبسط ازدواج صحيح يوجد بين نظريات الأوتار الفائقة الخمس يسمى ازدواج **T**. ويشير **T** إلى "طبولوجي **topological**"، لأن هذا الازدواج له

علاقة بطبولوجيا المكان. ويوجد عندما يكون أحد الأبعاد المدمجة دائرة. في هذه الحالة، يمكن للوتر أن يلتف حول الدائرة، وفي الواقع يمكنه أن يلتف عدة مرات (انظر الشكل ٩). عدد مرات التفاف الوتر حول الدائرة يسمى عدد الالتفافات.



الشكل ٩: يمكن للأوتار أن تلتف حول بعد خفي. في هذه الحالة، يكون المكان ذا بعد واحد والبعد الخفي دائرة صغيرة. يوضح الشكل أوتارًا تلتف حول الدائرة صفر مرة، ومرة واحدة ومرتين.

يقيس عدد آخر كيفية تذبذب وتر ما. يكون الوتر في حالة تناغم، تمامًا مثل وتر بيانو أو جيتار، ويدل عدد طبيعي على المستويات المختلفة للذبذبة. وازدواج T هو علاقة بين نظريتي أوتار كل منهما تلتف حول دائرة. يختلف نصفا قطر الدائرتين لكنهما يرتبطان ببعضهما، أحدهما يساوي مقلوب الآخر (بوحدات طول الوتر). في كل حالة، تتصرف حالات التفاف نظرية الأوتار الأولى تمامًا مثل مستويات تذبذب نظرية الأوتار الثانية. يتضح أن هذا النوع من الازدواج يوجد بين أزواج معينة من نظريات الأوتار الخمس. وهي تبدو نظريات مختلفة في البداية، لكن عندما تلتف أوتارها حول الدوائر، تصبح هي نفس النظرية.

هناك نوع آخر من الازدواج يُخمن أنه محكم أيضًا، رغم أن ذلك لم يتم إثباته بعد. تذكر من الفصل ٧ أن هناك ثابتا في كل نظرية أوتار يحدد مدى احتمال أن تتحطم الأوتار أو تتصل. هذا هو ثابت الازدواج، يُشار إليه عادة بالحرف g. عندما يكون g صغيرًا، فإن احتمال أن تتحطم الأوتار وتتصل صغير، لذلك نقول إن التفاعلات ضعيفة. عندما يكون g كبيرًا، فإنها تتحطم وتتصل طوال الوقت، لذلك نقول إن التفاعلات قوية.

والآن، قد يحدث أن ترتبط نظريتان بالطريقة التالية: لكل نظرية ازدواج g. لكن عندما يكون g النظرية الأولى مساويًا لــ ١/g النظرية الثانية، يبدو أن النظريتين تسلكان بشكل متطابق. يُطلق على ذلك S (تعبيرًا عن الازدواج القوي- الضعيف). لو أن g صغير، أي إن الأوتار تتفاعل بشكل ضعيف، يكون ١/g كبير، لذلك تتفاعل الأوتار في النظرية الثانية بقوة.

كيف يمكن لهاتين النظريتين أن تسلكا بشكل متطابق لو كانت ثوابت التزاوج بينهما مختلفة؟ ألا يمكننا معرفة ما إذا كان احتمال أن تتحطم الأوتار أو ترتبط كبير أو صغير؟ يمكننا ذلك، لو عرفنا حالة الأوتار. لكن ما يُعتقد أنه يحدث في حالات ازدواج S هو أن هاتين النظريتين فيهما أوتار أكثر مما يفترض.

هذا النمو للأوتار هو مثال على ظاهرة مألوفة يندر فهمها هي الانبثاق **emergance**، وهي كلمة تصف ظهور خواص جديدة في النظم الكبيرة والمعقدة. قد نعرف القانون الذي تخضع له الجسيمات الأولية، لكن عندما يلتف الكثير من الجسيمات معًا، فإن كل أنواع الظواهر الجديدة تصبح واضحة. قد تتجمع مجموعة من البروتونات، والنيوترونات والإلكترونات لإنتاج معدن ما، وأخرى، بنفس العدد، قد تتجمع لإنتاج خلية حية. كلاً من المعدن والخلية الحية هما مجرد تجمعات من البروتونات، والنيوترونات والإلكترونات. كيف، إذن، نصف ما يجعل المعدن معدنًا والبكتيريا بكتيريا؟ الخواص التي تميزها يُطلق عليها خواص الانبثاق.

وها هو مثال: ربما أسهل ما يمكن لمعدن أن يفعله هو التذبذب، لو أنك ضربت على طرف من قضيب معدني، سوف تنتقل موجة صوت خلاله. التردد الذي يتذبذب له المعدن هو خاصية انبثاق، كما هو حال السرعة التي ينتقل بها الصوت في المعدن. تذكر ازدواج الموجة/الجسيم في ميكانيكا الكم، التي تؤكد على أن هناك موجة مصاحبة لكل جسيم. والعكس صحيح أيضًا: هناك جسيم يصاحب كل موجة، بما في ذلك جسيم يصاحب موجة الصوت التي تنتقل خلال المعدن. وهو ما يطلق عليه فونون **phonon**.

ليس الفونون جسيما أوليا. وليس بالتأكيد أحد الجسيمات التي يتكون منها المعدن، لأنه يوجد فقط استنادًا إلى الحركة الجماعية لأعداد ضخمة من الجسيمات التي يتكون منها المعدن. لكن الفونون جسيم من نفس النوع فحسب. له كل خواص الجسيم. له كتلة، وله كمية حركة، ويحمل طاقة. ويسلك على وجه الدقة بالطريقة التي تقول ميكانيكا الكم إن على الجسيم أن يسلك بها. نقول إن الفونون جسيم منبثق.

يُعتقد أن أمورًا مثل هذه تحدث للأوتار أيضًا. عندما يكون التفاعل قويا، يكون هناك الكثير، الكثير من الأوتار التي تتحطم وتتصل، ويصبح من الصعب تتبع ما يحدث لكل وتر منفرد. عندئذ نبحث عن بعض خواص الانبثاق البسيطة لتجمعات كبيرة من الأوتار – خواص يمكننا استخدامها لفهم ما يحدث. الآن نصل إلى شيء مسل بالفعل. تمامًا مثل أن تذبذبات مجموعة كاملة من الجسيمات يمكنها أن تسلك مثل جسيم بسيط – فونون – يمكن لوتر جديد أن ينبثق عن حركة جماعية لعدد ضخم من الأوتار. يمكننا أن نطلق على ذلك وترا منبثقا.

وسلوك هذه الأوتار المنبثقة هو العكس تمامًا لسلوك الأوتار العادية – دعنا نسم الأخيرة الأوتار الأساسية. كلما ازداد تفاعل الأوتار الأساسية، يقل ما تفعله الأوتار المنبثقة. لجعل ذلك أكثر دقة بقليل: لو أن احتمال تفاعل وترين أساسيين يتناسب مع ثابت ازدواج الوتر g، عندئذ تكون بعض حالات احتمال أن تتفاعل الأوتار المنبثقة متناسبة مع ١/g.

كيف يمكنك التمييز بين الأوتار الأساسية والأوتار المنبثقة؟ يتضح أنك لا تستطيع – على الأقل، في بعض الحالات. في الواقع، يمكنك إدارة الصورة ورؤية الأوتار المنبثقة باعتبارها أساسية. تلك هي الخدعة الغريبة لازدواجية القوى– الضعيف. يبدو الأمر كما لو أن في استطاعتك النظر إلى معدن ورؤية فونونات – موجات الصوت الكمية – باعتبارها أساسية وكل البروتونات، والنيوترونات والإلكترونات التي يتكون منها المعدن باعتبارها جسيمات منبثقة تتكون من فونونات.

مثل ازدواجية T، اتضح أن هذا النوع من ازدواج القوى– الضعيف يربط بين أزواج معينة من نظريات الأوتار الفائقة الخمس. كان السؤال الوحيد حول ما إذا كانت هذه العلاقة تنطبق فقط على بعض حالات النظريات أو هي أعمق من ذلك. ذلك كان موضوع خلاف، لأنك لكي توضح العلاقة على أي حال، كان عليك دراسة حالات خاصة للنظريات المتزاوجة – حالات تتقيد بتماثل معين. وإلا لن يكون لديك سيطرة كافية على الحسابات للحصول على نتائج جيدة.

كان هناك، من ثم، مساران محتملان لعلماء النظرية. ذهب المتفائلون – وفي تلك الأيام كان أغلب علماء نظرية الأوتار متفائلين – إلى ما وراء ما يمكن توضيحه، إلى تخمين أن العلاقة بين حالات التماثل الخاصة التي يمكنهم اختبارها في النظريات المتزاوجة تمتد إلى كل النظريات الخمس. أي، افترضوا أنه حتى بدون تماثلات خاصة كان هناك دائمًا أوتار منبثقة وأنها تسلك دائمًا تمامًا مثل الأوتار الأساسية لنظرية أخرى. وهذا يتضمن أن

ازدواج S لا يربط فقط بين بعض جوانب النظريات ولكنه يظهر بوضوح تكافؤهما الكامل.

من جانب آخر، انزعج بضعة متشائمين من أنه ربما كانت النظريات الخمس مختلفة بالفعل عن بعضها البعض. ظنوا أنه من المثير للدهشة بعض الشيء أنه كان هناك حتى بضع حالات حيث تسلك خلالها الأوتار المنبثقة لنظرية واحدة مثل الأوتار الأساسية لنظرية أخرى، لكنهم أدركوا أن مثل هذا الأمر قد يكون صحيحًا حتى لو أن النظريات كانت كلها مختلفة.

ركز كثيرون (واستمروا في التركيز) على ما إذا كان المتفائلون أو المتشائمون على حق. لو اتضح أن المتفائلين على حق، عندئذ يكون كل نظريات الأوتار الفائقة الأصلية الخمسة هي في الواقع مجرد طرق مختلفة لوصف نظرية واحدة. لو أن المتشائمين كانوا على حق، عندئذ تكون كلها بالفعل نظريات مختلفة، ومن ثم لا يكون هناك انعدام نظير، ولا نظرية أساسية. ما دمنا لا نعرف ما إذا كان ازدواج قوي-ضعيف تقريبي أم دقيق، فإننا لا نعرف ما إذا كانت نظرية الأوتار فريدة من نوعها أم لا.

كان جانب من الدليل لصالح المتفائل هو أنه كان من المعروف أن حالات ازدواج مماثلة موجودة في نظريات أكثر بساطة ومفهومة بشكل أفضل من نظريات الأوتار. أحد الأمثلة هو نوع من نظرية يانج- ميلز يسمى N=4 نظرية يانج-ميلز الفائقة، ولها أكثر ما يمكن من التماثل الفائق. للاختصار، سوف نسميها النظرية الفائقة إلى أقصى حد. هناك دليل جيد على

أن لهذه النظرية نوعا ما من ازدواج S. وهي تعمل تقريبًا على هذا المنوال. في النظرية عدد من الجسيمات المشحونة كهربائيًا. ولها أيضًا بعض الجسيمات المنبثقة التي تحمل شحنات مغناطيسية. والآن، عادة لا تكون هناك شحنات مغناطيسية، هناك فقط أقطاب مغناطيسية. لكل مغناطيس قطبان، ونشير إليهما باعتبارهما الشمال والجنوب. لكن في مواقف معينة قد تكون هناك أقطاب مغناطيسية منبثقة تتحرك بشكل مستقل عن بعضها البعض – وهي معروفة بأنها وحيدة القطب **monopoles**. ما يحدث في النظرية الفائقة إلى أقصى حد هو وجود تماثل تقايض خلاله الشحنات الكهربائية والأقطاب المغناطيسية الوحيدة أماكنها. عندما يحدث ذلك، لو أنك غيرت قيمة الشحنة الكهربائية واحد مقسوم على القيمة الأصلية، لن تغير أي شيء في الفيزياء التي تصفها النظرية. النظرية الفائقة إلى أقصى حد هي نظرية رائعة، وكان عليها أن تلعب دورًا أساسيًا في ثورة الأوتار الفائقة الثانية، كما سنرى بعد قليل. لكن لأننا نفهم الآن القليل عن الأنواع المختلفة للازدواجات، يمكنني تفسير التخمين الذي ناقشه ويتين في محاضرته الشهيرة في لوس أنجلوس.

كما ذكرتِ، كانت الفكرة المهمة في محاضرة ويتين هي أن نظريات الأوتار الفائقة الخمس المتسقة كانت كلها بالفعل هي نفس النظرية. لكن ماذا كانت هذه النظرية الواحدة؟ لم يخبرنا ويتين، لكنه وصف تخمينًا مثيرًا لها، وهو أن النظرية التي توحد نظريات الأوتار الفائقة الخمس قد تتطلب بعدًا إضافيًا آخر، بحيث يكون للمكان الآن عشرة أبعاد وللزمكان أحد عشر(١).

تم تقديم هذا التخمين الخاص في البداية بواسطة عالمي فيزياء بريطانيين، كريستوفر هال Christopher Hull وبول تاونسيند Paul Townsend، من قبل ذلك بعام[٢]. كان ويتين قد توصل إلى كمية كبيرة من الأدلة على هذا التخمين، قائمة على ازدواجات تم التوصل إليها ليس فقط بين النظريات الخمس ولكن بين نظريات الأوتار ونظريات الأحد عشر بعدا.

لماذا يكون لتوحيد نظريات الأوتار بعد إضافي آخر؟ يمكن تفسير خاصة البعد الإضافي – نصف قطر الدائرة الإضافية في نظرية كالوزا-كلين – باعتباره مجالا يتغير عبر الأبعاد الأخرى. استخدم ويتين هذا التشابه الجزئي ليقترح أن مجالاً محددًا في نظرية الأوتار هو بالفعل نصف قطر دائرة تمتد في الأبعاد الأحد عشر.

كيف يساعد حتى الآن تقديم بعد مكاني إضافي واحد؟ على أي حال، لم تكن هناك نظرية أوتار فائقة التماثل متسقة في زمكان ذي أحد عشر بعدا. قد تتذكر من الفصل ٧، أن هذا هو الأكثر أبعادًا من بين كل نظريات الجاذبية الفائقة، وهو قمة جبل إفرست الحقيقية للجاذبية الفائقة. هكذا خمن ويتين أن عالم الأبعاد الأحد عشر الذي يشير إليه وجود مجاله الإضافي يمكن وصفه – في غياب نظرية الكم – بجاذبية فائقة ذات أحد عشر بعدًا.

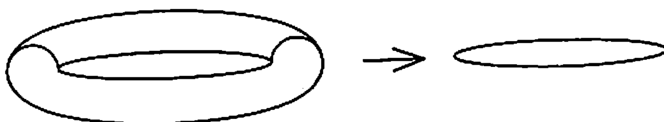
يضاف إلى ذلك، رغم عدم وجود نظرية أوتار في الأبعاد الأحد عشر، هناك نظرية لأسطح ذات بعدين تتحرك في زمكان ذي أحد عشر بعدا. هذه النظرية جميلة تمامًا، على الأقل على المستوى التقليدي. تم ابتكارها في بداية الثمانينيات ويطلق عليها، بشكل خيالي، نظرية الغشاء الفائق في أحد عشر بعدا.

تم تجاهل نظرية الغشاء الفائق بواسطة أغلب علماء نظرية الأوتار حتى جاء ويتين، وذلك لأسباب جيدة. وليس من المعروف ما إذا كان من الممكن جعل النظرية متسقة مع ميكانيكا الكم. حاول البعض التوحيد بينها وبين نظرية الكم وفشلوا. عندما حلت ثورة الأوتار الفائقة الأولى في ١٩٨٤، والتي قامت على خواص سحرية لنظريات في الأبعاد العشرة، تخلى أغلب علماء النظرية عن نظريات الأبعاد الأحد عشر هذه.

لكن الآن، تبعًا لويتين، اقترح علماء نظرية الأوتار إحياء نظرية الغشاء في أحد عشر بعدًا. فعلوا ذلك لأنهم لاحظوا عدة حقائق مدهشة. الأولى، لو أنك اعتبرت أحد الأبعاد الإحدى عشرة دائرة، يمكنك عندئذ لف أحد أبعاد الغشاء حول الدائرة (انظر الشكل ١٠). ذلك يترك الأبعاد الأخرى للغشاء حرة لتتحرك في الأبعاد التسعة الباقية للمكان. هذا شيء ذو بعد واحد يتحرك في مكان ذي تسعة أبعاد. وهو يشبه فحسب وترًا!

لا يقتصر الأمر على ذلك. تذكر أنه عندما يلتف وتر حول دائرة، تكون هناك تحولات يطلق عليها ازدواجات T. وبعكس الأنواع الأخرى من الازدواجات، من المعروف أن هذه دقيقة. نجد أيضًا مثل هذه التحولات المزدوجة عندما يتلف أحد أبعاد غشاء حول دائرة. لو فسرنا هذه التحولات بمصطلحات نظريات الأوتار التي نحصل عليها من التفاف الغشاء، يتضح أنها على وجه الدقة هي ازدواجات قوي–ضعيف التي تصل نظريات الأوتار هذه. هذه الازدواجات الخاصة، كما تتذكر، تم تخمينها لكن لم يتم إثباتها، خارج حالات خاصة. وتمت الآن معرفة أنها تأتي من تحولات نظرية الأبعاد

الأحد عشر. هذا أمر جذاب جدًا حتى إنه من الصعب عدم تصديق وجود نظرية توحيد في الأبعاد الأحد عشر. المشكلة الوحيدة التي ظلت موجودة هو اكتشافها.



الشكل ١٠: على اليسار، لدينا غشاء ذو بعدين، يمكننا تخيل التفافه حول بعد خفي، وهو دائرة صغيرة. برؤيته عن بعد كاف (على اليمين)، فإنه يشبه وترًا ملتفًا حول البعد الكبير.

في آخر ذلك العام، أعطى ويتين اسمًا للنظرية التي لم تكن قد تحددت حتى ذلك الحين. القيام بالتسمية كان مدهشًا: أسماها ببساطة نظرية M. لم يكن يرغب في قول ما تعنيه M، لأن النظرية لم تكن موجودة حتى ذلك الحين. كنا مدعوين لملء بقية الاسم بابتكار النظرية نفسها.

طرحت محاضرة ويتين الكثير من الأسئلة. لو كان على حق، كان هناك الكثير الذي يجب اكتشافه. أحد المستمعين كان جوزيف بولشنسكي، عالم نظرية أوتار يعمل في سانتا باربارا. وكما حكى عن الأمر، "بعد محاضرة إد، كتبت قائمة لعشرين مسألة كواجب منزلي لنفسي، لفهم ذلك بشكل أفضل"[٣]. قاده الواجب المنزلي إلى اكتشاف كان مقدرًا له أن يصبح مهمًا في ثورة الأوتار الفائقة الثانية – أن نظرية الأوتار ليست مجرد نظرية أوتار. هناك أشياء أخرى موجودة في الزمكان ذي العشرة أبعاد.

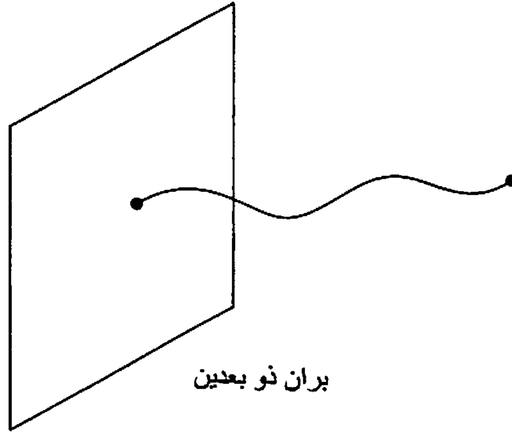
أولئك الذين لا يعرفون الكثير عن حوض تربية الأسماك يظنون أنه فقط للسمك. لكن المتحمسين لأحواض الأسماك يعرفون أن السمك هو فقط ما يجذب النظر في البداية. مجمل حوض السمك الصحي يكون حول حياة النبات. لو أنك حاولت تزويد حوض الأسماك بأسماك فقط، فلن تنمو بشكل جيد. سيكون لديك بسرعة مكان لحفظ جثث الأسماك. يتضح أنه خلال ثورة الأوتار الفائقة الأولى، من ١٩٨٤ إلى ١٩٩٥، كنا مثل هواة يحاولون تكوين أحواض أسماك بأسماك فقط. افتقدنا إلى أغلب ما هو ضروري لجعل المنظومة تعمل بنجاح حتى اكتشف بولشنسكي الأساسيات المفقودة.

في خريف ١٩٩٥، أوضح بولشنسكي أن أية نظرية أوتار، لكي تكون متسقة، يجب أن تحتوي ليس فقط على أوتار ولكن على أسطح ذات أبعاد أكثر تتحرك في خلفية المكان[٤]. هذه الأسطح هي أيضًا أشياء ديناميكية. تمامًا مثل الأوتار، هي حرة في الحركة في المكان. لو أن وترًا، وهو شيء ذو بعد واحد، يمكن أن يكون أساسيًا، لماذا لا يمكن لسطح ذي بعدين أن يكون أساسيًا؟ في الأبعاد العليا، حيث هناك الكثير من المجال لذلك، لماذا لا يكون هناك سطح ذو ثلاثة أو أربعة أو حتى خمسة أبعاد؟ وجد بولشنسكي أن الازدواجات بين نظريات الأوتار لن تتحقق بشكل متسق إلا إذا كانت هناك أشياء ذات أبعاد أعلى في النظرية. وأطلق عليها برانات D. (كلمة بران brane تأتي من كلمة غشاء membrane، وهو سطح ذو بعدين، وتشير D إلى تقنية لن أحاول شرحها هنا). تلعب البرانات دورًا خاصًا في حياة الأوتار: إنها أماكن يمكن للأوتار المفتوحة أن تنتهي عندها. عادة، يتحرك

طرفا أي وتر بحرية خلال المكان، لكن يمكن أحيانًا لطرفي وتر أن يتقيدا للحياة على سطح بران (انظر الشكل ١١). هذا لأن البرانات يمكنها أن تحمل شحنات كهربائية ومغناطيسية.

من وجهة نظر الأوتار، البرانات سمات إضافية لهندسة الخلفية. يثري وجودها نظرية الأوتار بأن يرفع إلى حد كبير من عدد هندسات الخلفية الممكنة التي يمكن لوتر أن يعيش فيها. بالإضافة إلى لف الأبعاد الإضافية في بعض الهندسات المعقدة، يمكنك لف البرانات حول أنشوطات وأسطح في هذه الهندسة. يمكنك الحصول على كل العدد الذي ترغب فيه من البرانات، ويمكن لفها حول أبعاد مدمجة عدد مرات عشوائي. بهذه الطريقة، يمكنك الحصول على عدد لانهائي من الخلفيات المحتملة لنظريات الأوتار. مخطط بولشنسكي هذا كانت له توابع هائلة.

تعمق البرانات أيضًا من فهمنا للعلاقة بين نظريات القياس ونظريات الأوتار. وهي تفعل ذلك بأن تسمح بطريقة جديدة لكي تظهر تماثلات في نظرية أوتار، نتيجة تكديس عدة برانات فوق بعضها البعض. كما ذكرت على النو، يمكن للأوتار المفتوحة أن تنتهي على برانات. لكن لو أن عدة برانات توجد في نفس المكان، لا يهم أين سينتهي أي وتر على واحد منها. هذا يعني أن هناك نوعا من التماثل يمارس عمله، والتماثلات، كما تم وصفها في الفصل ٤، تؤدي إلى ظهور نظريات القياس. وبالتالي، نجد علاقة جديدة بين نظرية الأوتار ونظريات القياس.



الشكل ١١: بران ذو بعدين، حيث ينتهي وتر مفتوح عليه.

تفتح البرانات أيضًا طريقًا جديدًا بالكامل للتفكير في كيفية ارتباط عالمنا ذى الأبعاد الثلاثة بالأبعاد المكانية الإضافية لنظرية الأوتار. بعض البرانات التي اكتشفها بولشنسكي ذات أبعاد ثلاثة. بتكديس برانات ذات أبعاد ثلاثة، تحصل على عالم ذي أبعاد ثلاثة مع أية تماثلات ترغب فيها، تهيم في عالم له أبعاد أعلى. هل يمكن أن يكون كوننا ذو الأبعاد الثلاثة مثل هذا السطح في عالم ذي أبعاد أعلى؟ تلك فكرة كبيرة، وتعطي صلة ممكنة بمجال بحث يسمى عوالم البران، حيث تتم رؤية كوننا باعتباره سطحًا يهيم في كون ذي أبعاد أعلى.

تفعل البرانات كل ذلك، لكنها تفعل حتى ما هو أكثر. تجعل من الممكن وصف بعض الثقوب السوداء الخاصة بنظرية الأوتار. ربما كان هذا الاكتشاف، الذي توصل إليه أندرو سترومنجر **Andrew Strominger** وكامران فافا **Cumrun Vafa** في ١٩٩٦، أعظم إنجاز لثورة الأوتار الثانية.

علاقة البرانات بالثقوب السوداء غير مباشرة لكنها قوية. وإليك ما يحدث: تبدأ بتعطيل قوة الجاذبية (تفعل ذلك بجعل ثابت ازدواج الوتر صفرا). قد يكون غريبًا وصف الثقوب السوداء، والتي ليست سوى جاذبية، بهذه الطريقة، لكن راقب ما يحدث. مع تعطيل الجاذبية، يمكننا النظر في هندسات يلتف فيها الكثير من البرانات حول الأبعاد الإضافية. ثم نقترب من حقيقة أن البرانات تحمل شحنات كهربائية ومغناطيسية. يتضح أن هناك حدا لكمية الشحنة في البران، وهو ما يرتبط بكتلة البران. الترتيبات ذات الشحنة الأعلى الممكنة تكون خاصة جدًا وتسمى متطرفة. يشكل ذلك أحد المواقف الخاصة التي تكلمنا عنها سابقًا، حيث توجد تماثلات إضافية تسمح لنا بإجراء المزيد من الحسابات الدقيقة. بشكل خاص، تتصف هذه المواقف بأن لها تماثلات متعددة مختلفة تربط بين الفرميونات والبوزونات.

هناك أيضًا كمية حد أقصى من الشحنة الكهربائية والمغناطيسية يمكن للثقب الأسود الحصول عليها مع استمراره متوازنًا. يطلق عليها ثقوبا سوداء متطرفة، وتمت دراستها منذ كثير من السنوات بواسطة اختصاصيين في النسبية العامة. لو أنك درست جسيمات تتحرك في هذه الخلفيات، ستجد أيضًا تماثلات فائقة متعددة مختلفة.

من المثير للدهشة، رغم إلغاء قوى الجاذبية، تعمل يتضح أن نظم البران الخارجية تشارك في بعض خواص الثقوب السوداء المتطرفة. بشكل خاص، تتماثل الخواص الديناميكية الحرارية بين النظامين. وهكذا، بدراسة الديناميكا الحرارية للبرانات المتطرفة الملتفة حول الأبعاد الإضافية، يمكننا إعادة إنتاج الخواص الديناميكية الحرارية للثقوب السوداء المتطرفة.

أحد التحديات في فيزياء الثقب الأسود كان تفسير اكتشاف جاكوب بيكنشتاين وستيفن هاوكنج بأن للثقوب السوداء إنتروبيا ودرجة حرارة (انظر الفصل ٦). الفكرة الجديدة من نظرية الأوتار هي أنه – على الأقل في حالة الثقوب السوداء المتطرفة – يمكنك إحداث تقدم بدارسة نظام مشابه للبرانات المتطرفة التي تلتف حول الأبعاد الإضافية. بالفعل، تتلاءم بشكل دقيق الكثير من خواص النظامين. هذا تقريبًا تزامن إعجازي يحدث لأنه في كلا الحالتين هناك الكثير من التحولات فائقة التماثل المختلفة التي تربط الفرميونات والبوزونات. يتضح أن ذلك يسمح بإنشاء تشابه رياضي قوى يرغم الديناميكا الحرارية للنظامين بأن يتطابقا.

لكن لم تكن تلك هي القصة بالكامل. يمكنك أيضًا دراسة الثقوب السوداء المتطرفة تقريبًا، حتى إن لها شحنة أقل قليلاً من الكمية القصوى الممكنة. من جانب البران، يمكنك أيضًا دراسة تجمعات البرانات التي لها شحنة أقل قليلاً من الشحنة القصوى. هل التوافق بين البرانات والثقوب السوداء يظل موجودًا؟ الإجابة هي نعم، يظل موجودا تمامًا. مادمت تظل قريبًا جدًا من الحالات المتطرفة، فإن خواص النظامين تتلاءم عن قرب. هذا

اختبار أكثر صرامة للتوافق. وعلى الجانبين، هناك علاقات معقدة ودقيقة بين درجة الحرارة وكميات أخرى مثل الطاقة، والإنتروبيا والشحنات. وتتفق الحالتان بشكل جيد جدًا.

في ١٩٩٦، سمعت شابًا أرجنتينيًا منخرطا في الدراسة الأكاديمية اسمه جوان مالداسينا **Juan Maldacena** يحاضر حول هذه النتائج في مؤتمر في تريست، حيث اعتدت قضاء وقت خلال الصيف. أصابني الذهول. الدقة التي يتلاءم بها سلوك البرانات مع فيزياء الثقوب السوداء أقنعتني على الفور لتخصيص وقت للعمل على نظرية الأوتار من جديد. صحبت مالداسينا إلى الخارج للغداء في محل فطائر يطل على الأدرياتيك، ووجدته أحد شباب علماء الأوتار الأكثر ذكاءً والأكثر فطنة ممن قابلتهم في أي وقت. أحد الأمور التي ناقشناها في تلك الليلة مع النبيذ والبيتزا كان حول ما إذا كان على نظم البرانات أن تكون أكثر من مجرد نماذج للثقوب السوداء. هل تقدم تفسيرًا حقيقيًا لإنتروبيا ودرجة حرارة الثقوب السوداء؟

لم نستطع الإجابة عن هذا السؤال، وظل مفتوحًا. تعتمد الإجابة على مدى أهمية هذه النتائج. وهنا نواجه موقفًا وصفته في حالات أخرى حيث يؤدي التماثل الإضافي إلى نتائج بالغة القوة. هناك، من جديد، وجهتا نظر. وجهة النظر المتشائمة التى ترى أن العلاقة بين النظامين ربما تكون نتيجة عرضية لحقيقة أن كليهما له كمية كبيرة من التماثل الإضافي. بالنسبة للمتشائم، حقيقة أن الحسابات جميلة لا يتضمن أنها تؤدي إلى تبصرات عامة حول الثقوب السوداء. بالعكس، يقلق المتشائم من أن الحسابات جميلة لأنها تعتمد على حالات خاصة جدًا لا تمتد إلى الثقوب السوداء النموذجية.

مع ذلك، يعتقد المتفائل أنه يمكن فهم كل الثقوب السوداء باستخدام نفس الأفكار، وأن التماثلات الإضافية الموجودة في حالات خاصة تسمح لنا ببساطة بحساب أكثر دقة. كما هو الحال مع ازدواج القوي-الضعيف، نظل لا نعرف ما يكفي لتقرير ما إذا كان المتفائلون أو المتشائمون على حق. في هذه الحالة، هناك قلق إضافي، وهو أن أكداس البرانات ليست ثقوبًا سوداء، لأنه تم إيقاف قوة الجاذبية. من الممكن تخمين أنها قد تصبح ثقوبًا سوداء لو تم تشغيل قوة الجاذبية ببطء. بالفعل، يمكن تخيل حدوث ذلك في نظرية الأوتار، لأن شدة قوة الجاذبية تتناسب مع مجال يمكن أن يتغير في المكان والزمن. لكن المشكلة أن مثل هذه العملية، حيث يتغير مجال الجاذبية مع الزمن، كان من الصعب دائمًا على نظرية الأوتار أن تصفها بشكل صارم.

تمامًا مثل إثارة أعماله في الثقوب السوداء للدهشة، كان مالداسينا قد بدأ أعماله فقط. في خريف ١٩٩٧، نشر بحثًا مذهلاً حيث اقترح نوعًا جديدًا من الازدواج[٥]. التزاوجات التي أشرنا إليها حتى الآن بين نظريات من نفس النوع، توجد في زمكان له نفس العدد من الأبعاد. كانت فكرة مالداسينا الثورية أنه يمكن أن يكون لنظرية أوتار وصفا مزدوجا قياسًا على نظرية قياس. هذا مذهل لأن نظرية الأوتار هي نظرية جاذبية، بينما نظرية القياس توجد في عالم بلا جاذبية، على خلفية ثابتة للزمكان. يضاف إلى ذلك، يكون للعالم الموصوف بنظرية الأوتار أبعاد أكثر من نظرية القياس التي تمثله.

إحدى طرق فهم اقتراح مالداسينا تذكّر الفكرة التي ناقشناها في الفصل ٧، حيث يمكن ظهور نظرية أوتار من دراسة خطوط تدفق المجال

الكهربائي. وهنا، تصبح خطوط تدفق المجال الكهربائي أشياء أساسية في النظرية. ولكونها وحيدة البعد فإنها تشبه الأوتار. يمكنك القول إن الخطوط تصبح أوتارا منبثقة. في أغلب الحالات، لا تسلك الأوتار المنبثقة التي تظهر من نظريات القياس مثل أنواع من الأوتار التي تتحدث عنها نظريات الأوتار. وبشكل خاص، لا يبدو أن لها أية علاقة بالجاذبية، ولا تقدم توحيدًا للقوى.

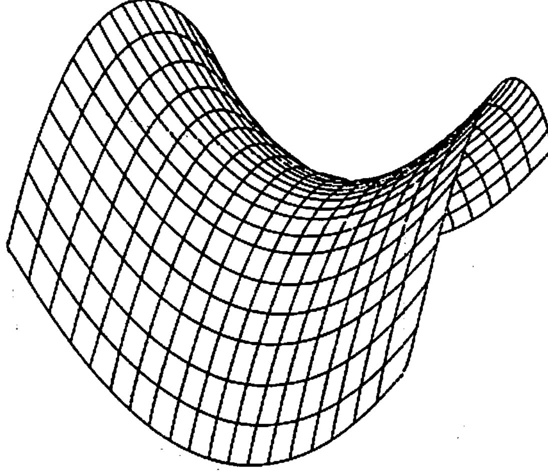
مع ذلك، اقترح ألكسندر بولياكوف أنه في حالات معينة قد تسلك الأوتار المنبثقة المصاحبة لنظرية قياس مثل الأوتار الأساسية. ويبقى أن نظرية أوتار القياس لا يمكن أن توجد في عالمنا، وبدلاً عنها، في أحد أكثر الإنجازات أهمية في خيال تاريخ هذا الموضوع، خمن بولياكوف أنها قد تتحرك في المكان الذي يكون له بعد واحد إضافي(٥).

كيف نجح بولياكوف في تخمين بعد إضافي لكي تتحرك فيه أوتاره؟ وجد أنه بمعالجتها بميكانيكا الكم، يكون للأوتار التي تظهر من نظرية القياس خاصية منبثقة، والتي يمكن، كما اتضح، وصفها بعدد متعلق بكل نقطة على الوتر. يمكن أيضًا تفسير عدد بأنه مسافة. في هذه الحالة، اقترح بولياكوف أن الرقم المرتبط بكل نقطة للوتر يتم تفسيره بأنه يعطي موقع هذه النقطة في بعد إضافي.

بوضع هذه الخاصية الجديدة المنبثقة في الاعتبار، كان الأكثر طبيعيًا رؤية خطوط التدفق الكهربائي للمجال باعتبارها موجودة في مكان له بعد آخر إضافي. بذلك، انساق بولياكوف إلى اقتراح ازدواج بين مجال قياس في عالم له ثلاثة أبعاد مكانية ونظرية أوتار في عالم له أربعة أبعاد مكانية.

بينما قدم بولياكوف هذا النوع من الاقتراح العام، كان مالداسينا هو الذي قام بتهذيب الفكرة. في العالم الذي درسه، تستضيف أبعادنا الثلاثة للمكان النظرية الفائقة إلى أقصى حد - نظرية القياس مع أقصى كمية من التماثل الفائق. درس الأوتار المنبثقة التي قد تظهر كوصف مزدوج لنظرية القياس هذه. بمد حجة بولياكوف، وجد دليلاً على أن نظرية الأوتار التي تصف الأوتار المنبثقة هذه هي بالفعل نظرية أوتار فائقة التماثل في عشرة أبعاد. من الأبعاد التسعة للمكان حيث توجد هذه الأوتار أربعة منها تشبه تلك الموجودة في تخمين بولياكوف. هناك، من ثم، خمسة أبعاد باقية، وهي أبعاد إضافية كما وصفها كالوزا وكلين (انظر الفصل ٣). يتم ترتيب الأبعاد الخمسة الإضافية على هيئة كرة. تعتبر الأبعاد الأربعة لبولياكوف منحنية، أيضًا، لكن بالطريقة العكسية للكرة، ويطلق على هذه الفضاءات أحيانًا شكل السرج (انظر الشكل ١٢). تناظر أكوان لها طاقة مظلمة، لكن حيث تكون الطاقة المظلمة سالبة.

كان تخمين مالداسينا أكثر جرأة من الاقتراح الأصلي لبولياكوف. ولقد أثار رد فعل هائل، وكان موضوع آلاف الأبحاث التي كتبت منذ ذلك الحين. ولم يتم إثباته حتى الآن، لكن كمية كبيرة من الأدلة تراكمت حتى إن هناك على الأقل توافقا تقريبيا بين نظرية الأوتار ونظرية القياس.



الشكل ١٢: سطح على هيئة سرج، وهو هندسة المكان في أكوان لها كثافة طاقة سالبة.

كان هناك – ولا يزال – كمية كبيرة من المخاطرة هنا. لو أن تخمين ازدواج مالداسينا صحيح والنظريتان متكافئتان، يكون لدينا عندئذ وصفا كميا دقيق لنظرية الأوتار الكمية. والسؤال الذي نرغب في طرحه حول نظرية الأوتار فائقة التماثل يمكن ترجمته إلى سؤال حول النظرية الفائقة إلى أقصى حد، وهي نظرية قياس. هذا مبدأ أكثر بكثير مما كان لدينا في الحالات الأخرى، حيث كان يتم تعريف نظرية الأوتار عند مستوى يعتمد على الخلفية فقط بواسطة سلسلة من عمليات التقريب.

مع ذلك، هناك عدة تحذيرات. حتى لو كان هذا صحيحا، يمكن لتخمين التزاوج أن يكون مفيدًا فقط لو أن جانبًا واحدًا من التزاوج يمكن تعريفه على وجه الدقة. حتى الآن، كان من الممكن تعريف النوع المناسب من نظرية الأوتار فقط في حالات خاصة معينة. وهكذا، كان الأمل السير في الاتجاه الآخر واستخدام التخمين لتعريف نظرية الأوتار قياسًا بالنظرية الفائقة إلى حد أقصى. مع ذلك، بينما نعرف الأكثر بكثير عن النظرية الفائقة إلى أقصى حد، لم يتم أيضًا بعد تعريف هذه النظرية على نحو دقيق. كانت هناك آمال في أننا نستطيع أن نفعل ما هو أفضل، لكن تلك الآمال تقوم على قضايا صعبة تقنيًا.

لو أن تخمين مالداسينا خطأ، عندئذ لن تكون النظرية الفائقة إلى أقصى حد ونظرية الأوتار متكافئتين. مع ذلك، حتى في هذه الحالة، هناك أدلة مهمة عند بعض مستويات التقريب على أن هناك علاقات مفيدة بين الاثنين. قد لا تكون حالات التقريب هذه قوية بما يكفي لتعريف نظرية واحدة قياسًا بالأخرى، لكنها تجعل من الممكن حساب بعض خواص إحداهما بالنسبة للأخرى. تم إنجاز كمية كبيرة من العمل عبر هذه الطرق.

على سبيل المثال، عند أقل مستوى من التقريب، تكون نظرية الأبعاد العشرة هي مجرد نوع من النسبية العامة وقد تم تمديدها إلى عشرة أبعاد وتم تعزيزها بالتماثل الفائق. لا يوجد في ذلك ميكانيكا كم ويتم التعريف بشكل جيد. من السهل إجراء بعض الحسابات في هذه النظرية، مثل دراسة انتشار أنواع مختلفة من الموجات في هندسة زمكان الأبعاد العشرة. من المثير

للاهتمام، أنه حتى لو ثبتت صحة تخمين مالداسينا فقط عند أقل حالة تقريب، يسمح لنا ذلك بحساب بعض خواص نظرية القياس المناظرة في عالمنا ذي الأبعاد الثلاثة.

يؤدي ذلك بدوره إلى تبصرات في فيزياء نظريات القياس الأخرى. نتيجة ذلك، هناك أدلة جيدة على أن، على الأقل في أكثر مستويات التقريب انخفاضًا، نظريات أوتار ونظريات قياس ترتبط بالطريقة التي تخيلها مالداسينا. سواء كان الشكل القوي لتخمين مالداسينا صحيحا أم خطأ – بالفعل، حتى لو كانت نظرية الأوتار نفسها خاطئة – نكون قد كسبنا أدوات قوية لفهم نظريات القياس فائقة التماثل.

بعد عدة سنوات من العمل المكثف، بقيت هذه الأمور مشوشة. موضع التساؤل ماهية العلاقة بالضبط بين نظرية الأوتار والنظرية الفائقة إلى أقصى حد. أغلب الأدلة يفسرها النوع الضعيف من تخمين مالداسينا، الذي يتطلب فقط أن تكون كميات معينة في نظرية واحدة قابلة للحساب باستخدام طرق في الأخرى ومن ثم يكون ذلك فقط بتقريب معين. هذا، كما لاحظت، هو بالفعل نتيجة ذات تطبيقات مهمة. لكن أغلب علماء نظرية الأوتار يعتقدون بالشكل الأكثر قوة للتخمين، والذي تبعًا له تكون النظريتان متكافئتين.

هذا الموقف تذكاري لتخمين ازدواج قوى–ضعيف، من هنا من الممكن إثبات صحة النتائج الأقوى فقط في مكان ثانوي خاص من الحالات التي يوجد فيها كمية كبيرة من التماثل الإضافي. كما في حالة القوي– الضعيف،

يقلق المتشائمون من أن التماثل الإضافي يرغم النظريات على الاتفاق بطريقة قد لا تحدث من جانب آخر، بينما يثق المتفائلون بأن التماثل الإضافي يسمح لنا بالحصول على نتائج تكشف العلاقة التي كانت صحيحة بشكل أكثر عمومية.

في النهاية، يكون من المهم إلى حد كبير تحديد نوع تخمين مالداسينا الصحيح. أحد جوانب أهميته يتمثل في وصف الثقوب السوداء. قد تظهر الثقوب السوداء في أكوان لها طاقة مظلمة سلبية، لذلك يمكننا محاولة استخدام تخمين مالداسينا لدراسة كيفية حل متناقضة معلومات الثقب الأسود التي طرحها ستيفن هاوكنج. واعتمادًا على ما إذا كان التوافق بين النظريتين دقيقا أو تقريبيا، قد يختلف حل المتناقضة.

افترض أن هناك فقط توافقا جزئيا بين نظرية الجاذبية في داخل الثقب الأسود ونظرية القياس. في هذه الحالة، يمكن للثقب الأسود أن يصيد المعلومات إلى الأبد – أو حتى يمرر المعلومات إلى كون جديد يولد من مفردة في مركز الثقب الأسود، كما افترض منذ زمن طويل بعض علماء النظريات، مثل جون أرشيبالد ويلير **John Archibald Wheeler** وبرايس ديويت **Bryce Dewitt**. هكذا لا تضيع المعلومات على أي حال، حيث تواصل وجودها في الكون الجديد، لكن المعلومات تكون مفقودة إلى الأبد بالنسبة لملاحظ في حدود الثقب الأسود. هذا الفقد ممكن لو أن نظرية القياس على الحدود تحتوي فقط على معلومات جزئية حول الداخل. لكن افترض أن التوافق بين النظريتين دقيق. لا يكون لنظرية القياس آفاق أو مفردات ولا

يكون هناك مكان يمكن للمعلومات أن تكون مفقودة فيه. لو أنها تناظر على وجه الدقة زمكان له ثقب أسود، لا يمكن فقد المعلومات هناك، أيضًا. في الحالة الاولى، يفقد الملاحظ المعلومات، وفي الثانية، يحافظ عليها. حتى هذه الكتابة، كانت هذه القضية في انتظار حلها.

كما رأينا أكثر من مرة، يلعب التماثل الفائق دورًا أساسيًا في نظرية الأوتار. يكون لنظريات الأوتار المؤسسة على عدم وجود تماثل فائق حالات عدم اتزان، ولو تُركت وشأنها، فإنها ستنطلق، لتبث المزيد والمزيد من التاكيونات في عملية لا تنتهي، حتى تنهار النظرية. لا يشبه هذا إلى حد كبير عالمنا. يزيل التماثل الفائق هذا السلوك ويجعل النظريات متزنة. لكن من بعض الجوانب، فإنه يفعل هذا بشكل جيد جدًا. هذا لأن التماثل الفائق يتضمن أن هناك تماثلا في الزمن، وتكون النتيجة أن النظرية فائقة التماثل لا يمكن إنشاؤها على زمكان يتطور مع الزمن. لذلك، فإن جانب النظرية المطلوب لجعلها متزنة يجعل من الصعب أيضًا دراسة أسئلة قد نرغب بشدة أن تجيب عنها نظرية كمية للجاذبية، مثل ما حدث في الكون بعد الانفجار الكبير بالضبط، أو ما يحدث في العمق داخل أفق ثقب أسود. كلاهما ظروف تتطور خلالها الهندسة بسرعة في الزمن.

هذا نموذجي لما عرفناه عن نظرية الأوتار خلال ثورة الأوتار الفائقة الثانية. ولقد توسع فهمنا إلى حد كبير، تاليًا لمجموعة من النتائج الفاتنة غير المسبوقة. لقد قدمت لنا لمحات مشوقة عن ما قد يكون صحيحًا، لو استطعنا فقط التحديق في ما وراء حجاب غير مسبوق ورؤية الشيء الحقيقي. لكن

حاول كما نفعل، ستجد أن الكثير من الحسابات التي نرغب في إجرائها ظلت بعيدة المنال. للحصول على أية نتائج، علينا اختيار أمثلة وأحوال خاصة. في الكثير من الأمثلة ظللنا نجهل ما إذا كانت الحسابات يمكنها إعطاء نتائج تكون مرشدًا حقيقيًا لموقف عام أم لا.

أنا شخصيًا أجد هذا الموقف محبطا جدًا. إما كنا نحرز تقدمًا سريعًا نحو نظرية كل شيء، أو كنا في بحث لا جدوى منه، نبالغ في تفسير النتائج دون حكمة، نأخذ باستمرار القراءات الأكثر تفاؤلاً من الحسابات التي استطعنا إجراءها. عندما اشتكيت من ذلك لأحد رواد نظرية الأوتار في منتصف التسعينيات، طلب مني عدم القلق، الأمر فحسب أن النظرية كانت أكثر ذكاء منا. لا يمكننا، كما قيل لي، طرح الأسئلة على النظرية مباشرة وانتظار الإجابات. وأي محاولة مباشرة لحل المشاكل الكبيرة كان مصيرها الفشل. بدلاً عن ذلك، علينا الثقة في النظرية واتباعها، قانعين باستكشاف الأجزاء التي ترغب النظرية عن الكشف عنها باستخدام طرقنا المعيبة للحساب.

كانت هناك مباغتة واحدة. كان يجب لنوع كمي حقيقي من نظرية M أن يكون مستقلاً عن الخلفية، لنفس السبب الذي يجعل أي نظرية كمية عن الجاذبية كذلك. لكن بالإضافة إلى الأسباب التي ذكرتها سابقًا، يجب أن تكون نظرية M مستقلة عن الخلفية لأن نظريات الأوتار الفائقة الخمس، مع كل تعددها وهندساتها، من المتوقع أن تكون جزءًا من نظرية M. وهذا يتضمن كل الطرق المختلفة التي يمكن لهذه الهندسات أن تلتف بها، في كل الأبعاد المكانية من واحد إلى عشرة. كلها تتيح خلفيات للأوتار والبرانات لكي

تتحرك. لكن لو كانت جزءًا من نظرية توحيد واحدة، لا يمكن لهذه النظرية أن تنشأ على أي خلفية واحدة، لأنها يجب أن تشمل كل الخلفيات.

المشكلة الرئيسية في نظرية **M**، من ثم، هي تقديم صيغة لها تكون متسقة مع نظرية كمية ومستقلة عن الخلفية. هذا موضوع مهم، ربما المسألة المفتوحة الأكثر أهمية في نظرية الأوتار. لسوء الحظ، لم يتم إحراز الكثير من التقدم فيها. كانت هناك بعض التلميحات الفاتنة، لكن لازلنا لا نعلم ماهية نظرية **M**، أو ما إذا كانت هناك أية نظرية تستحق هذا الاسم.

كان هناك بعض التقدم في مقاربة لنظرية **M** بميكانيكا الكم ولكن، مرة أخرى، في خلفية خاصة. تلك كانت محاولة لتقديم نظرية كمية لنظرية غشاء في الأحد عشر بعدًا، والتي تعود إلى الثمانينيات. توصل ثلاثة علماء فيزياء أوروبيون، برنارد دو ويت **Bernard de Wit**، وجينس هوب **Jens Hoppe** وهرمان نيكولاي **Hermann Nicolai**، إلى أنه يمكن فعل ذلك بخدعة يتم خلالها تمثيل الغشاء بجدول ذي بعدين، أو صف كبير، من الأعداد – يطلق عليها علماء الرياضيات مصفوفة. تتطلب صياغتها أن يكون هناك تسعة من هذه الجداول، ومنها يحصلون على نظرية تقوم بتقريب سلوك الغشاء(٦).

توصل دو ويت وزملاؤه إلى أنك تستطيع جعل نظرية مصفوفتهم متسقة مع نظرية الكم. كانت هناك عقدة واحدة، هو أنك لكي تصف الأغشية، يجب أن تمتد المصفوفة إلى ما لا نهاية، بينما يمكن أن يكون لنظرية الكم معنى فقط لو أن المصفوفة محدودة. لذلك لم يكن لدينا سوى حدس بأنه لو

استطاعت نظرية الكم أن تمتد بشكل متسق إلى صفوف لانهائية من الأرقام، فقد تعطي نظرية كم للأغشية.

في ١٩٩٦، أعاد أربعة علماء نظرية أوتار أمريكيون هذه الفكرة إلى الحياة، لكن بتحريف. اقترح توماس بانكس **Thomas Banks**، وويلي فيشلر **Willy Fischler**، وستيفن شينكر **Stephen Shenker**، وليونارد ساسكايند **Leonard Susskind** أنه على خلفية ذات أحد عشر بعدًا لزمكان منبسط، لا تعطي نظرية المصفوفة مجرد نظرية غشاء ذات أحد عشر بعدًا ولكن كل نظرية **M**(٧). لا يعطي نموذج المصفوفة هذا مجمل الإجابة عن ماهية نظرية **M**، لأنها في خلفية خاصة. وينجح الأمر في بضع خلفيات أخرى، لكنه لا يعطي إجابة محسوسة عندما يحدث التفاف لأكثر من أربعة أبعاد للمكان. لو كانت نظرية **M** صحيحة، يكون لعالمنا سبعة أبعاد ملتفة، ومن ثم لا يكون ذلك بالجودة الكافية. ويضاف إلى ذلك، نظل لا نعرف ما إذا كان هذا يؤدي إلى نظرية كم متسقة بالكامل لو أصبحت المصفوفة لانهائية.

لسوء الحظ، تظل نظرية **M** حدسًا مشوقًا. وهو ما يغري بالتصديق به. في نفس الوقت، في غياب صيغة حقيقية، فإنها ليست نظرية بالفعل – هي حدس حول نظرية نحب أن نؤمن بها.

عندما أفكر في علاقتنا بنظرية الأوتار عبر السنوات، أتذكر تاجر فن كان يمثل صديقًا لي. عندما تقابلنا، ذكر أنه كان أيضًا صديقًا حميمًا لكاتبة شابة كنت معجبًا بكتابها، يمكننا تسميتها **M**. بعد عدة أسابيع، اتصل بي وقال، "كنت أتحدث مع **M** في اليوم التالي، وكما تعرف هي مهتمة جدًا

بالعلم. هل أستطيع جعلكما تتقابلان معًا في وقت ما؟". بالطبع شعرت بالمجاملة إلى حد كبير والإثارة وقبلت أول دعوات الغداء المتعددة. في منتصف إحدى الوجبات الطيبة، رن الهاتف الجوال لتاجر الفن. "إنها M"، أعلن ذلك. "هي قريبة من هنا. وتحب أن تمر علينا وتقابلك. هل توافق؟". لكنها لم تأت أبدًا. خلال تناول الحلوى، كان لي مع التاجر حديثًا طويلاً حول العلاقة بين الفن والعلم. بعد قليل، كان فضولي حول ما إذا كانت M ستحضر قد تضاءل أمام ارتباكي من لهفتي على لقائها، لذلك شكرته وذهبت إلى البيت.

اتصل بي بعد عدة أسابيع، واعتذر بإسراف، ودعاني إلى الغداء من جديد لمقابلتها. بالطبع ذهبت. بالمناسبة، كان يأكل في أفضل المطاعم، ويبدو أن مديرى بعض صالات الفن كانت لهم اعتمادات مالية باذخة تتخطى أجور العلماء الأكاديميين. لكن نفس المشهد تكرر هذه المرة وفي عدة دعوات غداء لاحقة. كان عليها أن تتصل، ثم تمر ساعة، وساعتين أحيانًا، قبل أن يرن الهاتف من جديد: "أوو، أعرف، لست في حالة جيدة" أو "سائق التاكسي لا يعرف مكان الأوديون؟ أخذك إلى بروكلين؟ ما الذي يحدث في هذه المدينة؟ نعم، أنا متأكد، قريبًا جدًا..". بعد عامين على هذا المنوال، أصبحت مقتنعًا بأن صورة السيدة الشابة على غلاف كتابها كانت مزيفة. في ليلة ما أخبرته أنني قد فهمت أخيرًا: كان هو M. ابتسم فحسب وقال، "حسنًا، نعم.. لكنها تمتعت كثيرًا بمقابلتك".

قصة نظرية الأوتار تشبه مقابلتي المؤجلة إلى الأبد للسيدة M: أن تعمل في الموضوع حتى لو كنت تعرف أنه ليس الموضوع الحقيقي، لأنه قريب جدًا مما تعرف أنك ستحصل عليه. خلال ذلك الوقت كانت الصحبة ساحرة والطعام طيب. من وقت إلى آخر، تسمع أن نظرية حقيقية على وشك الظهور، لكن بشكل ما لا يحدث ذلك أبدًا. بعد قليل، تنطلق باحثًا عنها أنت نفسك. يبدو ذلك جيدًا، لكنه، أيضًا، لا يصل إلى أي شيء أبدًا. في النهاية، يكون لديك إضافة قليلة على ما بدأت به: صورة جميلة على غلاف كتاب لا يمكنك أن تفتحه أبدًا.

١٠

نظرية أي شيء

في ثورتي الأوتار، لم تلعب الملاحظة تقريبًا أي دور. مع نمو عدد نظريات الأوتار، استمر أغلب علماء نظرية الأوتار في الاعتقاد في صحة النوع الأصلي لنظرية فريدة أعطت تنبؤات فريدة للتجارب، لكن لم تكن هناك أية نتائج تشير إلى هذا الاتجاه، وطوال الوقت كان هناك قلة من علماء النظريات قلقين من أن النظرية الفريدة لن تظهر أبدًا. في ذلك الوقت، أصر المتفائلون على ضرورة أن يكون لدينا إيمان وأن نتبع ما تقود إليه النظرية. بدا أن نظرية الأوتار تفعل الكثير الضروري لنظرية توحيد سوف تظهره بالتأكيد مع الوقت بقية القصة.

مع ذلك، كان هناك في السنوات المتعددة الأخيرة، منعطف كامل في كيفية تفكير الكثير من علماء نظرية الأوتار. الآمال التي تم الاحتفاظ بها طويلاً في نظرية فريدة كانت قد تراجعت، ويعتقد الكثير منهم الآن أنه يجب فهم نظرية الأوتار باعتبارها مشهدًا هائلاً لنظريات محتملة، كل منها يحكم منطقة مختلفة من كون متعدد.

ما الذي أدى إلى هذا الانعكاس في التوقعات؟ بشكل متناقض، كان مواجهة مع البيانات. لكن لم تكن تلك هي البيانات التي أملنا فيها – كانت بيانات لم يتوقعها أبدًا أغلبنا.

يجب على أي نظرية جيدة أن تدهشنا، وهذا يعني أن أيًا من كان الذين يبتكرونها فإنهم يؤدون عملهم. لكن عندما تدهشنا ملاحظة، يقلق علماء النظريات. لم تكن هناك أية ملاحظة خلال السنوات الثلاثين الأخيرة تثير القلق أكثر من اكتشاف الطاقة المظلمة في ١٩٩٨. ما نعنيه عند القول بأن الطاقة مظلة هو أنها تبدو مختلفة عن كل أشكال الطاقة والمادة المعروفة من قبل، لذلك لا تكون مصحوبة بأي جسيمات أو موجات. إنها موجودة هناك فحسب.

لا نعرف ماهية الطاقة المظلمة، ونعلم بوجودها فقط لأنه يمكننا قياس تأثيراتها على تمدد الكون. وهي تظهر نفسها باعتبارها مصدر السحب الجاذبي المنتشر بشكل متماثل في الفضاء. حيث إنها موزعة بصورة متساوية، لا يسقط أي شيء تجاهها، حيث توجد نفس الكمية في كل مكان. تأثيرها الوحيد الممكن يكون على متوسط السرعة التي تتحرك بها المجرات مبتعدة عن بعضها البعض. ما حدث في ١٩٩٨ هو أن أرصاد السوبرنوفا في المجرات البعيدة يشير إلى أن تمدد الكون تسارع بطريقة يمكن تفسيرها بشكل أفضل بوجود طاقة مظلمة(١).

أحد الأمور التي يمكن للطاقة المظلمة أن تكون عليه قد يسمى أحيانًا الثابت الكوني. يشير هذا التعبير إلى نوع من الطاقة لها سمة مميزة: تبدو خواص الطاقة، مثل شدتها، هي نفسها بالضبط بالنسبة لكل الراصدين، أيًا كان موقعهم في المكان والزمن ومهما كانت حركتهم. هذا غير عادي إلى حد كبير. عادة تكون الطاقة مصحوبة بمادة، ويكون هناك راصد مفضل، يتحرك مع المادة. الثابت الكوني مختلف. ويسمى ثابتا لأنك تحصل على نفس القيمة

الشاملة له أيا كان مكان وزمن قياسه وأيًا كانت حركة الراصد. ولأنه يبدو ألا أصل له ولا تفسير قياسًا بالجسيمات أو الموجات التي تتحرك في المكان، يوصف بأنه كوني - أي، هو سمة لكل الكون وليس لأي شيء خاص فيه. (سوف أذكر أننا لسنا متأكدين حتى الآن من أن الطاقة المظلمة هي بالفعل على هيئة ثابت كوني، كل ما لدينا من أدلة حاليًا تشير إلى هذا الطريق، لكننا سنعرف بشكل أفضل بكثير في السنوات القليلة المقبلة ما إذا كانت شدة الطاقة لا تتغير بالفعل في المكان والزمن).

لا تتنبأ نظرية الأوتار بالطاقة المظلمة، وحتى الأسوأ أن القيمة التي تم التنبؤ بها كان من الصعب جدًا على نظرية الأوتار أن تستوعبها. وبالتالي، تسبب اكتشافها في أزمة في هذا المجال. لمعرفة السبب، علينا العودة إلى الخلف لحكي القصة الغريبة والبائسة للثابت الكوني.

تبدأ القصة نحو ١٩١٦، مع رفض أينشتاين تصديق أكثر تنبؤات نظريته التي كانت عندئذ هي نظرية النسبية العامة، أهمية. كان قد أفاد من الدرس الكبير للنسبية العامة، وهو أن هندسة المكان والمزمن يتطوران ديناميكيًا. لذلك عندما بدأ الناس يطبقون نظريته الجديدة على نماذج للكون، لم يكن عليه أن يفاجأ بما وصولوا إليه، وهو أن الكون، أيضًا، يتطور ديناميكيًا في الزمن. كان نموذج الأكوان التي درسوها يتمدد ويتقلص، بل وبدا أن له حتى بدايات ونهايات.

لكن أينشتاين كان مندهشًا من هذه النتائج - وأصابه الفزع. منذ أرسطو حتى ذلك الوقت، كان يُظن دائمًا أن الكون مستقر. لعل الرب خلقه، وإذا كان الأمر كذلك فإنه لم يتغير منذ تم خلقه. كان أينشتاين أكثر علماء

الفيزياء النظرية إبداعًا ونجاحًا خلال القرنين السابقين، لكن حتى هو لم يكن يستطيع تخيل أن الكون أي شيء سوى كون أبدي وغير قابل للتغير. ونحن نميل إلى القول بأن أينشتاين لو كان عبقريًا حقيقيًا، لكان قد صدق نظريته أكثر من تحيزه ولتنبأ بتمدد الكون. لكن الدرس الأكثر خصبًا هو فحسب كيف كان من الصعب حتى بالنسبة لأكثر المفكرين مجازفة أن يتخلوا عن معتقدات تم التمسك بها لآلاف السنين.

ونحن، الذين اعتدنا الآن على هذه الفكرة، يمكننا فقط تأمل كيف كان من الصعب قبول فكرة أن الكون قد تكون له بداية. على أي حال، لم تكن هناك أدلة في ذلك الوقت على أن الكون تغير أو تطور مع الزمن، لذلك اعتبر أينشتاين تنبؤات تمدد الكون علامة على أن نظريته كان فيها عيب وبحث عن ملاءمتها مع مفهومه عن كون أبدي.

لاحظ أن معادلاته عن الجاذبية تسمح باحتمال جديد، وهو أن كثافة طاقة الفضاء الخالي قد تكون لها قيمة – بعبارة أخرى، قد لا تكون صفرًا. ويضاف إلى ذلك، قد تكون كثافة الطاقة الكونية هذه هي نفسها لكل الراصدين، بغض النظر عن مكان وزمن إجرائهم للأرصاد، وبغض النظر عن طبيعة حركتهم. لذلك أطلق عليه الثابت الكوني. ووجد أن تأثير الثابت يعتمد على علامته. عندما كان عددًا موجبًا، قد يسبب ذلك تمدد الكون – لا يتمدد فقط ولكنه يفعل ذلك بمعدل تسارع. يختلف هذا عن تأثير المادة العادية، التي قد تسبب تقلص الكون بسبب السحب الجاذبي المتبادل لكل المادة التي يحتوي عليها. لذلك أدرك أينشتاين أنه يستطيع استخدام الميل التمددي للمصطلح الجديد لموازنة التقلص الناتج عن قوة الجاذبية، وبذلك يحصل على الكون المتزن والأبدي.

وصف أينشتاين لاحقًا الثابت الكوني بأنه أكبر خطأ ارتكبه. بالفعل كان خطأ فادحًا مضاعفًا. أولاً لم ينجح بشكل جيد، فلم يحم حقًا الكون من التقلص. يمكنك موازنة التقلص الناتج عن المادة في مواجهة التمدد الناتج عن الثابت الكوني، ولكن إلى حد وجيز جدًا. كان التوازن غير مستقر جوهريًا. دغدغ الكون عندها قد يبدأ في النمو أو التقلص. لكن الخطأ الفادح كان أنه من الخطأ البدء بفكرة أن الكون مستقر. بعد عقد، بدأ عالم فلك اسمه إدوين هابل **Edwin Hubble** العثور على دليل على أن الكون كان يتمدد. منذ العشرينيات، كان الثابت الكوني ارتباكا، شيئا يجب التخلص منه. لكن بمرور الزمن، أصبح عمل ذلك أصعب فأصعب، على الأقل نظريًا. لا يمكن جعله فحسب صفرًا أو تجاهله. مثل فيل في زاوية، يظل هناك حتى لو زعمت بأنه غير موجود.

بسرعة بدأ الناس يفهمون أن لدى نظرية الكم ما تقوله حول الثابت الكوني. لسوء الحظ، كان عكس ما نرغب في سماعه. بدا أن نظرية الكم – بشكل خاص، مبدأ عدم اليقين – تتطلب ثابتا كونيا هائلا. إذا كان هناك شيء ساكن تمامًا، يكون له موقع وكمية حركة محددين، وهذا يتناقض مع مبدأ عدم اليقين، الذي يقول بأنك لا يمكنك معرفة كلٍ من هذين الأمرين في ما يخص جسيم ما. النتيجة أنه حتى عندما تكون درجة الحرارة صفرا، تظل الأشياء في حالة حركة. هناك طاقة متبقية صغيرة تصاحب أي جسيم وأي درجة حرية، حتى عند درجة الحرارة صفر. يسمى ذلك طاقة الفراغ **vacuum**، أو طاقة الحالة الدنيا. عند تطبيق ميكانيكا الكم على مجال ما، مثل المجال الكهرومغناطيسي، يكون هناك طاقة فراغ لكل شكل تذبذب للمجال.

لكن أي مجال يكون له عدد هائل من أشكال التذبذب، لذلك تتنبأ نظرية الكم بطاقة فراغ هائلة. في سياق نظرية النسبية العامة لأينشتاين، يتضمن ذلك ثابتا كونيا هائلا. نعرف أن هذا خطأ، لأنه يتضمن أن الكون تمدد بسرعة كبيرة حتى إنه لم يكن من الممكن تشكل أية بنية. حقيقة وجود مجرات يضع حدودًا قوية على مدى ضخامة الثابت الكوني. هذه الحدود أصغر في مقدارها ١٢٠ مرة من التنبؤات التي تعطيها نظرية الكم، وقد تصف فحسب أسوأ تنبؤ قدمته نظرية علمية في أي وقت.

شيء ما خطأ إلى حد كبير هنا. يمكن للشخص المنطقي أن يأخذ بوجهة النظر القائلة بأن هناك حاجة إلى فكرة جديدة جذريًا، وأنه لا يمكن إحراز أي تقدم في توحيد الجاذبية ونظرية الكم حتى يتم تفسير هذا التعارض. يشعر الكثير من أغلب الأشخاص المنطقيين بذلك. أحدهم هو عالم الفيزياء النظرية الألماني أولاف دريير **Olaf Dreyer**، الذي يرى أن التعارض بين نظرية الكم والنسبية العامة يمكن حله فقط لو تخلينا عن فكرة أن المكان أساسي. واقترح أن المكان نفسه ينبثق من وصف أساسي أكثر مختلف تمامًا. ناقض وجهة النظر هذه أيضًا الكثير من علماء النظريات الذين أنجزوا أعمالاً عظيمة في مجال فيزياء المادة المكثفة، مثل الحاصل على جائزة نوبل روبرت لافلين **Robert Laughlin** وعالم الفيزياء الروسي جريجوري فولوفيك **Grigori Volovik**. لكن أغلبنا نحن العاملين في مجال الفيزياء الأساسية يتجاهلون ببساطة هذه المسألة ويواصلون دراسة المقاربات المختلفة، حتى ولو في نهاية يوم أنجزوا فيه شيئًا لحلها.

حتى الوقت الحالي، كان هناك إنقاذ مرضٍ عنه: على الأقل القيمة المرصودة للثابت الكون صفر – أي، لم يكن هناك دليل على معدل تمدد متسارع للكون. كان هذا مريحا لأن من الممكن أن نأمل في العثور على مبدأ جديد يمكن أن يرفع الحرج عن المعادلات معًا ويجعل الثابت الكوني صفرا بالضبط. ولعله كان سيعتبر أكثر سوءًا لو أن القيمة المرصودة كانت رقمًا بالغ الصغر غير الصفر، لأنه لأكثر صعوبة تخيل مبدأ جديدا يقلل الرقم إلى ما هو أصغر بكثير ويظل رقم غير الصفر. هكذا، لعقود شكرنا أربابنا المختلفين على أننا لم نقع على الأقل في هذه المشكلة.

يطرح الثابت الكوني مشكلة على كل علماء الفيزياء، لكن الوضع يبدو أفضل قليلاً بالنسبة لنظرية الأوتار. لا يمكن لنظرية الأوتار تفسير سبب أن الثابت الكوني صفر، لكنها تفسر على الأقل سبب أنه لم يكن رقمًا موجبًا. أحد الأمور القليلة التي يمكننا استنتاجها من نظريات الأوتار التي كانت معروفة عندئذ كان أن الثابت الكوني يمكن أن يكون فقط صفرا أو سالبا. لا أعرف أي عالم نظرية أوتار على وجه الخصوص تنبأ بأن الثابت الكوني لا يمكن أن يكون عددًا موجبًا، لكن كان من المفهوم على نطاق واسع أن ذلك نتيجة لنظرية الأوتار. الأسباب تقنية جدًا حتى إنه لا يمكن إعطاؤها حقها هنا.

في الواقع، تمت دراسة نظريات أوتار بثابت كوني سالب. ويتضمن حدس مالداسينا المشهور، على سبيل المثال، زمكان بثابت كوني سالب. كان هناك عدد من المصاعب، وحتى يومنا هذا لم يكتب أحد بوضوح تفاصيل نظرية أوتار في عالم بدون ثابت كوني سالب. لكن هذا النقص في الوضوح يُعتقد بأنه قضية تقنية – ليس هناك سبب معروف عن سبب عدم إمكانية ذلك من ناحية المبدأ.

يمكنك تخيل المفاجأة، من ثم، في ١٩٩٨، عندما بدأت أرصاد السوبرنوفا توضح أن تمدد الكون كان يتسارع، مما يعني أن الثابت الكوني يجب أن يكون عددًا موجبًا. تلك كانت أزمة حقيقية، لأنه بدا أن هناك عدم توافق بين الأرصاد وتنبؤ لنظرية الأوتار. بالفعل، كانت هناك فرضيات تشير إلى أن الأكوان التي لها ثابت كوني موجب - على الأقل، مادام كانت التأثيرات الكمية مهملة - لا يمكن أن تكون حلولاً لنظرية الأوتار.

لم يكن من المسلم به أن إدوارد ويتين شخص متشائم، ومع ذلك أعلن بصورة قاطعة في ٢٠٠١ "لا أعرف أية طريقة واضحة للحصول على فضاء سيتير **Sitter space** [كون له ثابت كوني موجب] من نظرية أوتار أو نظرية **M**"[٢].

كان فلاسفة ومؤرخو العلم، ومن بينهم إمر لاكاتوس **Imre Lakatos**، وبول فييربند **Paul Feyerbend** وتوماس كون قد جادلوا بأن شذوذًا تجريبيًا واحدًا من النادر أن يكفي للقضاء على نظرية. لو كان من المعتقد أن نظرية ما ذات عمق كاف، بواسطة مجموعة كبيرة بما يكفي من الخبراء، سوف يذهبون دائمًا إلى أقصى حد لإنقاذها. لا يكون ذلك سيئًا دائمًا بالنسبة للعلم، ويمكن أن يكون أحيانًا جيدًا جدًا. أحيانًا ينجح المدافعون عن النظرية، وعندما يحدث ذلك، يمكن إنجاز اكتشافات عظيمة وغير متوقعة. لكنهم يفشلون أحيانًا، وعندئذ يكون قد تم ضياع الكثير من الوقت والطاقة وعلماء النظريات يغرزون أنفسهم أعمق فأعمق في حفرة ما. قصة نظرية الأوتار في السنوات القليلة الماضية لهي قصة يفهمها جيدًا لاكاتوس وفييربند، لأنها قصة

مجموعة كبيرة من الخبراء بذلوا كل ما في وسعهم لإنقاذ نظرية يعزونها في مواجهة بيانات تبدو متناقضة معها.

الذي أنقذ نظرية الأوتار – لو أنه تم إنقاذها حقًا – كان حل مشكلة مختلفة تمامًا: كيفية جعل الأبعاد الأعلى متزنة. تذكر أنه في نظريات البعد الأعلى ينتج عن التفاف الأبعاد الإضافية الكثير من الحلول. وتلك التي يمكنها إعادة إنتاج العالم الذي نلاحظه تكون خاصة جدًا، من حيث إن جوانب معينة في هندسة الأماكن ذات الأبعاد الأعلى يجب المحافظة عليها مجمدة. وإلا، بمجرد بدء الهندسة في التطور، قد تستمر في ذلك فحسب، مما ينتج عنه إما مفردة أو تمددا سريعا يجعل الأبعاد الإضافية الملتفة كبيرة مثل الأبعاد التي نلاحظها.

يطلق علماء نظرية الأوتار على ذلك مشكلة معاملات الاستقرار **moduli stabilization**، حيث "المعاملات **moduli**" هي الاسم العام للثوابت التي ترمز إلى خواص الأبعاد الإضافية. تلك كانت مشكلة على نظرية الأوتار أن تحلها، لكن لوقت طويل لم يكن من الواضح كيف يتم ذلك. كما في الحالات الأخرى، قلق المتشائمون، بينما كان المتفائلون على ثقة بأننا سنكتشف الحل إن آجلاً أو عاجلاً.

في هذه الحالة، كان المتفائلون على حق. بدأ التقدم في التسعينيات عندما فهم الكثير من علماء النظريات في كاليفورنيا أن المفتاح كان في استخدام البرانات لموازنة الأبعاد الأعلى. لفهم الكيفية، علينا تقدير إحدى سمات المشكلة، وهي أن هندسة الأبعاد الأعلى يمكن أن تتغير باستمرار بينما تبقى خلفية جيدة لنظرية أوتار. بعبارة أخرى، يمكنك تغيير حجم أو شكل

الأبعاد الأعلى، وبفعل ذلك، تكون قد جعلتها تتدفق خلال فضاء نظريات أوتار مختلفة. هذا يعنى أنه لا يوجد ما يوقف هندسة الأبعاد الإضافية من التطور مع الزمن. لتجنب هذا التطور، علينا البحث عن نوع من نظريات الأوتار كان من المستحيل على ما يبدو الانتقال بينها. إحدى طرق فعل ذلك كان العثور على نظريات أوتار يكون كل تغير لها خطوة متميزة – أي، بدلاً عن التدفق بسلاسة عبر النظريات، عليك إجراء تغيرات كبيرة مفاجئة.

أخبرنا جوزيف بولشنسكي بأنه كانت هناك بالفعل أشياء متميزة في نظرية أوتار: البرانات. تذكر أن هناك خلفيات وتر حيث تلتف البرانات حول أسطح في الأبعاد الإضافية. تأتي البرانات في وحدات متميزة. قد يكون لديك ١، أو ٢، أو ١٧، أو ٢٠٤٠١٩٧ برانات لكن ليس ١٠٠٣ بران. حيث إن البرانات تحمل شحنات كهربائية ومغناطيسية، يؤدي هذا إلى ظهور وحدات متميزة للتدفق الكهربائي والمغناطيسي.

لذلك في أواخر التسعينيات، بدأ بولشنسكي العمل مع منخرط في الدراسات الأكاديمية مبتدع اسمه رافائيل بواسو **Raphael Bousso** في دراسة نظريات أوتار، حيث يلتف عدد كبير من وحدات التدفق الكهربائي حول أبعاد إضافية. تمكنا من الحصول على نظريات لا تتغير فيها بعد ذلك بعض البارامترات بشكل مستمر.

لكن هل يمكنك تجميد كل الثوابت بهذه الطريقة؟ يتطلب ذلك بنية أكثر تعقدًا بكثير، لكن للإجابة فائدة إضافية. تقدم نظريات أوتار لها ثابت كوني موجب.

تم التوصل إلى الاختراق المهم في بداية ٢٠٠٣، بواسطة مجموعة علماء من ستانفورد، بما فيهم ريناتا كالوش **Renata Kallosh**، رائدة في الجاذبية الفائقة ونظرية الأوتار، وأندري ليند **Andrei Lind**، أحد مكتشفي التضخم، وأحد أفضل علماء نظريات الأوتار الشباب، وشاميت كاشري **Shamit Kachru** وسانديب ترافيدي **Sandip Travedi**[٣]. وعملهم معقد حتى بمقاييس نظرية الأوتار، وتم وصفه بواسطة زميلهم في ستانفورد ليونارد ساسكيند باعتباره "آلة روب جولدبرج **Rube Goldberg Contraption**". لكن كان له تأثير ضخم، لأنه حل كل من مشكلة توازن الأبعاد الإضافية ومشكلة جعل نظرية الأوتار متسقة مع أرصاد الطاقة المظلمة.

هنا نوع مبسط مما فعلته جماعة ستانفورد. بدأوا بنوع تمت دراسته كثيرًا من نظرية الأوتار – زمكان منبسط ذو أربعة أبعاد مع هندسة صغيرة ذات ستة أبعاد في كل نقطة. واختاروا هندسة أبعاد ستة ملتفة لتكون أحد فضاءات كالابي–ياو (انظر الفصل ٨). وكما تمت ملاحظته، هناك على الأقل مائة ألف منها، وكل ما عليك فعله هو التقاط واحدة نموذجية تعتمد هندستها على الكثير من الثوابت.

ثم أحدثوا التفافا لعدد كبير من التدفقات الكهربائية والمغناطيسية حول فضاءات ذات ستة أبعاد عند كل نقطة. ولأنه يمكنك أن تلف فقط وحدات تدفق متميزة، يميل ذلك إلى تجميد حالات عدم التوازن. ولمزيد من توازن الهندسة، عليك الاستعانة بتأثيرات كمية معينة ليس من المعروف أنها تظهر مباشرة من نظرية الأوتار، لكنها مفهومة إلى حد ما في نظريات القياس فائقة التماثل، لذلك

من الممكن أن تلعب دورًا هنا. بالجمع بين التأثيرات الكمية هذه وتأثيرات التدفقات، تحصل على هندسة تكون كل المعاملات مستقرة خلالها.

يمكن فعل ذلك أيضًا بحيث يظهر ما يعتبر ثابت كوني سالب في زمكان له أربعة أبعاد. يتضح أننا كلما رغبنا في ثابتا كونيا أصغر، ازدادت التدفقات التي علينا لفها، لذلك نلف عددًا هائلاً من التدفقات للحصول على ثابت كوني بالغ الصغر لكنه يظل سالبًا. (كما تمت ملاحظته، لا نعرف بوضوح كيفية كتابة تفاصيل نظرية أوتار على مثل هذه الخلفية، لكن ليس هناك سبب للاعتقاد في عدم وجودها).

لكن الأمر هو الحصول على ثابت كوني موجب، لإحداث تلاؤم بين أرصاد معدل تمدد الكون. لذلك فإن الخطوة التالية هي لف برانات أخرى حول الهندسة، بطريقة مختلفة، والتي يكون لها تأثير رفع الثابت الكوني. تمامًا مثل أن هناك جسيمات مضادة، هناك برانات مضادة، واستخدمتها جماعة ستانفورد هنا. بلف البرانات المضادة، يمكن إضافة طاقة لجعل الثابت الكوني صغيرًا وموجبًا. في نفس الوقت، يتم حظر ميل نظريات الأوتار إلى التدفق في بعضها البعض، لأن أي تغير يتطلب خطوة متميزة. بذلك، يتم حل مشكلتين في الوقت نفسه: تم التخلص من حالات عدم التوازن ويكون الثابت الكوني صغيرًا وموجبًا.

لعل جماعة ستانفورد أنقذت نظرية الأوتار، على الأقل حتى ذلك الوقت، من الأزمة التي تولدت عن الثابت الكوني. لكن الطريقة التي فعلوا بها ذلك كان لها توابع غريبة وغير مقصودة لدرجة أنها شطرت مجتمع

الأوتار إلى زمر. قبل ذلك، كان هذا المجتمع في حالة وفاق. كان الذهاب إلى مؤتمر حول الأوتار الفائقة في التسعينيات يشبه الذهاب إلى الصين في بداية الثمانينيات، وفي هذه الحالة يبدو كل شخص تقريبًا تتحدث إليه كما لو أنه يحمل بحماس نفس وجهة النظر. للأفضل أو للأسوأ، دمرت جماعة ستانفورد وحدة الجماعة.

تذكر أن نظرية الأوتار الخاصة التي نناقشها تأتي من لف تدفقات حول هندسات مدمجة. للحصول على ثابت كوني صغير، عليك لف الكثير من التدفقات. لكن هناك أكثر من طريقة واحدة للف أي تدفق، هنا: بالفعل الكثير من الطرق. ما عددها؟

قبل الإجابة عن هذا السؤال، عليك التأكيد على أننا لا نعرف أيا من النظريات الناتجة عن لف التدفقات حول الأبعاد الخفية يعطي نظريات أوتار كمية متسقة جيدة. من الصعب جدًا الإجابة عن هذا السؤال باستخدام الطرق الموجودة لدينا. لذلك ما نفعله هو تطبيق اختبارات، تعطينا الشروط الضرورية لكن غير الكافية لوجود نظريات أوتار جيدة. وتتطلب الاختبارات أن يكون لنظريات الأوتار، لو أنها كانت موجودة، أوتار تتفاعل بشكل ضعيف. هذا يعني أنه لو كان في استطاعتنا إجراء حسابات في نظريات أوتار، قد تكون النتائج قريبة جدًا من تنبؤات الحسابات التقريبية التي نستطيع إجراؤها.

السؤال الذي يمكننا الإجابة عنه هو عدد النظريات التي تنجح في هذه الاختبارات، والتي تتضمن لف تدفقات حول ستة أبعاد خفية. تعتمد هذه الإجابة على قيمة الثابت الكوني الذي نرغب في الحصول عليه. لو أننا

نرغب في ثابت كوني سالب أو صفر، يكون هناك عدد لانهائي من النظريات المتميزة. لو أننا نرغب في أن تعطي النظرية قيمة موجبة للثابت الكوني، حتى تتفق مع الرصد، يكون هناك عدد محدود، وفي الوقت الراهن هناك دليل على وجود $١٠^{٥٠٠}$ نظرية من هذا النوع.

هذه بالطبع كمية هائلة من نظريات الأوتار. يضاف إلى ذلك، أن كلا منها متميز. كل منها سيعطي تنبؤات مختلفة عن فيزياء الجسيمات الأولية وتنبؤات مختلفة عن قيم بارامترات النموذج المعياري.

فكرة أن نظرية الأوتار لا تعطينا نظرية واحدة ولكن مشهدا يتكون من الكثير من النظريات الممكنة تم اقتراحه في أواخر الثمانينيات وبداية التسعينيات، لكن أغلب علماء النظريات رفضوها. وكما تمت ملاحظته، توصل أندرو سترمنجر في ١٩٨٦ إلى أنه كان هناك عدد هائل من نظريات الأوتار المتسقة بوضوح، واستمر قلق قلة من علماء نظرية الأوتار حول الفقد الناتج في التنبؤات، بينما ظل الكثير منهم واثقا من أن حال ما قد يظهر للاستقرار على نظرية فريدة وصحيحة. لكن أعمال بواسو وبولشنسكي وجماعة ستانفورد قلبت التوازن في النهاية. أعطتنا عددًا هائلاً من نظريات الأوتار الجديدة، كما فعل سترمنجر، وما كان جديدًا هو أن هذه الأعداد كانت ضرورية لحل مشكلتين كبيريين: أي، جعل نظرية الأوتار متسقة مع أرصاد طاقة الفراغ الموجبة وموازنة النظريات. ربما لهذه الأسباب، أصبح من الممكن في النهاية عدم رؤية المشهد الشاسع للنظريات باعتباره نتيجة عجيبة يجب تجاهلها ولكن كوسيلة لإنقاذ نظرية الأوتار من إمكانية الدحض.

السبب الثاني للتمسك بفكرة المشهد، ببساطة شديدة، أن علماء النظريات كانوا محبطين.. كانوا قد قضوا زمنًا طويلاً باحثين عن مبدأ يمكنه اختيار نظرية أوتار فريدة، لكن لم يتم اكتشاف مثل هذا المبدأ. بعد الثورة الثانية، أصبحت نظرية الأوتار مفهومة الآن بشكل أفضل. والتزاوجات، بشكل خاص، جعلت الأمر أكثر صعوبة للقول بأن معظم نظريات الأوتار قد تكون غير متزنة. هكذا، بدأ علماء نظرية الأوتار في قبول المشهد الشاسع للاحتمالات. السؤال الذي كان يقود هذا المجال لم يعد يدور حول كيفية العثور على نظرية فريدة ولكن حول كيفية إنجاز الفيزياء بمثل هذه المجموعة الضخمة من النظريات.

أحد ردود الفعل هو القول بأن هذا مستحيل. حتى لو حددنا أنفسنا بنظريات تتفق مع الرصد، يبدو أنه سيكون هناك الكثير من النظريات التي سوف يعطيك بعض منها بشكل مؤكد تقريبًا النتيجة التي ترغب فيها. لماذا نأخذ فقط هذا الموقف باعتباره البرهان غير المباشر **reduction ad absurdum**؟ يبدو أفضل في اللاتينية، لكنه أكثر أمانة في الإنجليزية، لذلك دعنا نقل: لو أن محاولة ما لإنشاء نظرية فريدة للطبيعة أدت بدلا عن ذلك إلى $١٠^{٥٠٠}$ نظرية، تكون هذه المداخلة قد تقلصت إلى عبث.

هذا مؤلم بالنسبة للكثيرين الذين استثمروا سنوات أو حتى عقود من حياتهم العملية في نظرية الأوتار. لو أنه مؤلم بالنسبة لي، وقد كرست كمية معينة من الزمن في هذا الجهد، يمكنني فقط تخيل ما يشعر به حقًا بعض من أصدقائي الذين خاطروا بكل وظائفهم في نظرية الأوتار. ومع ذلك، حتى لو

كان الأمر مؤذيا كالجحيم، يبدو أن معرفة البرهان غير المباشر استجابة معقولة وأمينة للموقف. إنها استجابة اختارها قلة من الأشخاص الذين أعرفهم. لكنها الآن ما يختاره أغلب علماء نظرية الأوتار.

هناك استجابة أخرى منطقية: إنكار الزعم بوجود عدد هائل من نظريات الأوتار. تقوم الأدلة على نظريات جديدة لها ثابت كوني موجب على تقريبات قاسية، ربما تقود علماء النظريات إلى تصديق نظريات لا توجد رياضيًا، ناهيك عن فزيائيًا.

في الواقع، يقوم دليل أي عدد ضخم من نظريات الأوتار ذات الثابت الكوني الموجب على أدلة غير مباشرة إلى حد كبير. لا نعرف كيف نصف بالفعل أوتارًا تتحرك في هذه الخلفيات. ويضاف إلى ذلك، يمكننا تعريف بعض الشروط الضرورية لكي توجد نظرية أوتار، لكننا لا نعرف ما إذا كانت هذه الشروط كافية أيضًا لوجود النظرية. لا يوجد هناك، إذن، برهان على أن نظرية أوتار موجودة بالفعل في أي من هذه الخلفيات. لذلك فإن الشخص المنطقي قد يقول إنها ربما لا تكون موجودة. بالفعل، هناك نتائج حديثة – من جاري هوروفيتس **Gary Horowitz**، وهو أحد مكتشفي فضاءات كالابي-ياو، وزميلين شابين، هما توماس هيرتوج **Thomas Hertog** وكينجو مادا **Kengo Maeda** – يطرح أسئلة حول ما إذا كان أي من هذه النظريات يصف عوالم متزنة(٤). يمكن للمرء إما أخذ هذا الدليل بشكل جاد أو تجاهله، وهو ما يفعله الكثير من علماء نظريات الأوتار. عدم التوازن المحتمل الذي وجده هوروفيتس ومساعدوه لا يصيب فقط مشهد

النظريات الجديدة التي توصلت إليها مجموعة ستانفورد لكن كل الحلول المتضمنة في فضاءات كالابي-ياو ذات الأبعاد الستة. لو كانت هذه الحلول غير متزنة حقًا، فهذا يعني أن أغلب العمل الذي يهدف إلى ربط نظرية الأوتار بالعالم الواقعي يجب التخلي عنه. هناك أيضًا جدل راهن حول مصداقية بعض افتراضات جماعة ستانفورد.

في بداية ثورة الأوتار الفائقة الأولى، كان من الإعجاز وجود أي نظرية أوتار على أي حال. حتى وجود خمس نظريات كان أكثر إثارة للدهشة. وغطت الاستحالة على تصديقنا بالمشروع. لو أنه كان من غير المرجح في البداية أن تنجح ثم نجحت - حسنًا، لم يكن ذلك أقل من أن يكون مدهشًا. الآن علماء نظريات الأوتار جاهزون لقبول وجود مشهد يحتوي على عدد هائل من النظريات، يقوم على أدلة أقل بكثير مما احتجنا إليه منذ عشرين عامًا لإقناع أنفسنا بأن نظرية واحدة موجودة.

لذلك لوضوح الخط الفاصل يمكن القول ببساطة، "أحتاج لما يقنعني بأن هذه النظريات موجودة، باستخدام نفس المعايير التي كانت مطلوبة منذ عقود لتقييم الخمس الأصلية". لو أنك كنت مصرًا على المعايير، عندئذ لن تؤمن بالعدد الهائل للنظريات الجديدة، لأن الدليل على أي نظرية في المشهد الحالي بالغ الصغر إلى حد ما تبعًا للمعايير القديمة. تلك هي وجهة النظر التي أجد نفسي أميل إليها، في أغلب الأوقات. فهي تبدو لي فحسب أكثر القراءات منطقية للدليل.

١١

الحل المرتبط بالإنسان

خفّض الكثير من علماء الفيزياء الذين أعرفهم من توقعاتهم بأن نظرية الأوتار هي نظرية أساسية للطبيعة – لكن لم يفعل الجميع ذلك. في السنوات القليلة الماضية، أصبح مما يتفق مع الموضة القول بأن المشكلة لا ترتبط بنظرية الأوتار ولكن بتوقعاتنا لما يجب أن تكون عليه أية نظرية فيزيائية. تم تقديم هذه الحجة منذ عامين بواسطة ليونارد ساسكايند في بحث بعنوان "مشهد نظرية الأوتار المرتبط بالإنسان":

بناء على الأعمال الراهنة لعدد من المؤلفين، يبدو من المقبول أن المشهد ضخم ومتنوع بشكل لا يمكن تخيله. سواء أحببنا ذلك أم لا، هذا هو نوع السلوك الذي يقدم دليلاً على المبدأ الإنساني... [نظريات مشهد جماعة ستانفورد] ليست بهذه البساطة. إنها مجهزة للحالات الطارئة، آلة روب جولدبرج التي من الصعب أن يكون لها أهمية أساسية. لكن في أي نظرية إنسانية لا تلقى البساطة والأناقة اعتبارات. المعيار الوحيد لاختيار الفراغ هو المنفعة، أي هل له العناصر الضرورية كما في تشكيل المجرات والكيمياء المعقدة كضرورة للحياة. ذلك مع علم الكون الذي يضمن احتمالاً عاليًا لأن تتشكل على الأقل رقعة فضاء كبيرة واحدة مع بنية فراغ هي التي ستشكل مع بنية الفضاء كل ما نحتاج إليه[١].

المبدأ الإنساني الذي يشير إليه ساسكايند هو فكرة قديمة اقترحها واستكشفها علماء كون منذ السبعينيات، وهي تتعامل مع حقيقة أن الحياة يمكن أن تظهر فقط في نطاق ضيق إلى أقصى درجة من كل البارامترات الفيزيائية الممكنة ومع ذلك، ومن الغرابة بمكان، أننا موجودون هنا، رغم أن الكون تم تصميمه ليتكيف معنا (من هنا جاءت كلمة إنساني **anthropic**). الصيغة الخاصة التي يستدعيها ساسكايند هي سيناريو كوني دافع عنه أندري ليند لبعض الوقت، ويطلق عليه التضخم الأبدي. وتبعًا لهذا السيناريو، لم تؤد مرحلة التضخم السريع للكون المبكر إلى ظهور نوع واحد ولكن مجموعة لانهائية من الأكوان. يمكنك التفكير في الحالة البدائية للكون كمرحلة تتمدد أسيًا ولا تتوقف أبدًا. تظهر الفقاعات فيها، وفي هذه الأماكن يتباطأ التمدد إلى بصورة تثير الغرابة. عالمنا هو إحدى هذه الفقاعات، لكن هناك عدد لانهائي من الفقاعات الأخرى. أضاف ساسكايند إلى هذا السيناريو فكرة أنه عندما تتشكل الفقاعة، يتم اختيار أحد الأعداد الهائلة من نظريات الأوتار ببعض العمليات الطبيعة للسيطرة على هذا الكون. والنتيجة هي تعداد هائل من الأكوان، تتم السيطرة على كل منها بنظرية أوتار يتم اختيارها عشوائيًا من مشهد من النظريات. في مكان ما فيما يطلق عليه كون متعدد نظرية محتملة تمامًا في المشهد.

أجد من سوء الحظ أن يقبل ساسكايند وآخرون المبدأ الإنساني، لأنه كان من المفهوم لبعض الوقت أنها قاعدة فقيرة جدًا لإنجاز العلم. حيث إن كل نظرية ممكنة تسيطر على جزء ما من الكون المتعدد، يمكننا إجراء القليل جدًا من التنبؤات. وليس من الصعب معرفة السبب.

لتقديم تنبؤ في نظرية ما يفترض تعداد هائل من الأكوان يتفق عشوائيًا مع القوانين المختارة، علينا أولاً كتابة كل الأمور التي نعرفها عن كوننا. تنطبق هذه الأمور على عدد ما من الأكوان الأخرى أيضًا، ويمكننا الرجوع إلى مجموعة من الأكوان حيث تكون هذه الحقائق صحيحة باعتبارها أكوانا حقيقية ممكنة.

كل ما نعرفه هو أن كوننا واحد من الأكوان الممكنة. بمعرفة أن تعداد الأكوان نتج عن توزيع عشوائي للقوانين الأساسية للطبيعة بينها، يمكننا معرفة القليل أيضًا. يمكننا تقديم تنبؤ جديد فقط لو أن كل، أو كل تقريبًا، كون حقيقي ممكن له خاصية ليست على قائمة الخواص التي نرصدها بالفعل في كوننا الخاص.

على سبيل المثال، افترض أن في كل كون حقيقي ممكن تقريبًا يكون التذبذب الأكثر تناغمًا هو قانون C. عندئذ يكون من المحتمل إلى حد كبير أن كونا ما مأخوذ عشوائيًا من الأكوان الحقيقية الممكنة سيكون متناغمًا مع القانون C. حيث إننا لا نعرف شيئًا عن كوننا الخاص باستثناء أنه كون حقيقي ممكن، يمكننا التنبؤ باحتمال عال أن كوننا يغني القانون C، أيضًا.

المشكلة أنه بسبب أن توزيع النظريات على كل الأكوان يعتبر عشوائيًا، تكون هناك خواص قليلة جدًا مثل هذه. المرجح أكثر، بمجرد أن نكون قد حددنا الخواص التي نلاحظها في كوننا الخاص، أن الخواص الباقية التي قد تكون لأي كون لدينا سوف يتم توزيعها عشوائيًا بين الأكوان الحقيقية المحتملة الأخرى. بذلك لن نستطيع تقديم أي تنبؤات.

ما كنت أصفه هو ما يطلق عليه علماء الكون المبدأ الإنساني الضعيف. كما يشير الاسم، الشيء الواحد الذي نعرفه عن كوننا هو أنه يدعم الحياة الذكية، ومن ثم فإن كل كون حقيقي ممكن يجب أن يكون مكانًا حيث يمكن للحياة الذكية أن تعيش. يرى ساسكايند وآخرون أن هذا المبدأ ليس بجديد. على سبيل المثال، كيف نفسر حقيقة أننا نجد أنفسنا على كوكب يتخذ موقعًا بحيث تكون درجة الحرارة في النطاق الذي تكون فيه المياه سائلة؟ لو أننا اعتقدنا بأنه كان هناك كوكب واحد فقط في الكون، قد نجد أن هذه الحقيقة محيرة. قد نميل إلى الاعتقاد في ضرورة مصمم ذكي. لكن بمجرد معرفتنا بأن هناك عددا هائلا من النجوم والكثير من الكواكب، نفهم أنه بالصدفة فقط سيكون هناك الكثير من الكواكب الصديقة للحياة. ولذلك، لن نصاب بالدهشة عندما نجد أنفسنا على واحد منها.

مع ذلك، هناك فرق كبير بين القياس بالكوكب والموقف الكوني، وهو أننا لا نعرف شيئًا عن أي كون سوى كوننا. وجود تعداد لأكوان أخرى هو فرضيات لا يمكن إثباتها بالرصد المباشر، ومن ثم لا يمكن استخدامه بطريقة تفسيرية. صحيح أنه لو كان هناك تعداد من الأكوان ذات قوانين عشوائية، لن يدهشنا أن نجد أنفسنا في واحد منها لا يمكننا العيش فيه. لكن حقيقة أننا في كون صديق للحياة لا يمكن استخدامها كإثبات لنظرية بأن هناك تعدادا هائلا من الأكوان.

هناك نقاش مضاد، يمكننا تصويره بمثال الكوكب. دعنا نفترض أنه كان من المستحيل رصد أي كواكب أخرى. لو أننا استنتجنا من ذلك أنه كان هناك

في الحقيقة كوكب واحد فقط، سنكون مضطرين إلى الاعتقاد في شيء مستحيل إلى حد بعيد، وهو أن الكوكب الوحيد الموجود صديق للحياة. من جانب آخر، لو أننا افترضنا أن هناك الكثير من الكواكب ذات الخواص العشوائية، حتى لو لم نرصدها أبدًا، عندئذ يزداد إلى حد كبير احتمال أن تكون قلة منها صديقة للحياة – بالفعل يقترب الاحتمال من ١. لذلك، يُقال، إنه من المحتمل أن هناك من الكواكب أكثر بكثير من احتمال وجود واحد فقط.

لكن هذه الحجة القوية خادعة(*). لمعرفة السبب، دعنا نقارنه بحجة أخرى قد تأتي من نفس الدليل. الشخص الذي يؤمن بالتصميم الذكي قد يقول بأن هناك كوكبا واحدا فقط وهو صديق للحياة، وهناك احتمال مرتفع لعمل مصمم ذكي. إذا اعتبرنا وجود خيار بين نظريتين – (١) الكوكب الفريد صديق للحياة بحظ متطرف فقط، و(٢) كان هناك مصمم ذكي هو الذي صنع الكوكب الفريد وجعله صديقا للحياة – يقودنا نفس المنطق إلى استنتاج أنه من المعقول أكثر اختيار البديل الثاني.

يلعب سيناريو الكثير من الأكوان المرصودة نفس الدور المنطقي لسيناريو المصمم الذكي. كل منهما يقدم فرضية غير متزنة تجعل، إذا كانت صحيحة، شيئًا ما مستحيلاً يبدو ممكنًا تمامًا.

(*) المبدأ الخادع المستخدم هنا يسير على المنوال التالي. دعنا نرصد O ونضع في اعتبارنا تفسيرين. إذا نظرنا إلى التفسير A، يكون احتمال O منخفضا جدًا، لكن بالنظر إلى التفسير B، يكون الاحتمال مرتفعا. من المغري أن نستنتج من ذلك أن احتمال B أكبر من A، لكن ليس هناك مبدأ للمنطق أو الاحتمال يسمح بهذا الاستنتاج.

جزء من سبب أن هذه الحجج خادعة هو أنها تعتمد على افتراض غير معلن - أن لدينا القائمة الكاملة للبدائل. لأننا (بالعودة إلى مثال الكوكب) لا نستطيع استنتاج احتمال أن التفسير الحقيقي لصداقة كوكبنا للحياة سوف يظهر في وقت ما في المستقبل. المغالطة في الحجتين هي أن كليهما تقارنان تفسيرا واحدا ممكنا - لكنه غير متزن - بالقول بأنه لا يوجد تفسير ممكن. بالطبع، لو اعتبرنا فقط هذين الخيارين، يظهر تفسير أكثر عقلانية من أي استحالة لا تفسير لها.

لقرون كان لدينا سبب جيد للاعتقاد بأن هناك الكثير من الكواكب، لأن هناك الكثير من النجوم - وحديثًا أثبتنا مباشرة وجود كواكب خارج نطاق الشمس **extrasolar**. لذلك نصدق تفسير الكواكب الكثيرة لصداقة الحياة في كوكبنا. لكن عندما يتعلق الأمر بصداقة الحياة لكوننا، يكون لدينا ثلاثة احتمالات على الأقل:

١- كوكبنا هو أحد التجمعات الهائلة للأكوان بقوانين عشوائية.

٢- كان هناك مصمم ذكي.

٣- هناك آلية مجهولة حتى الآن سوف تفسر كلاً من صداقة الحياة لكوننا وتقدم تنبؤات قابلة للاختبار يمكن من خلالها إثباتها أو دحضها.

بمعرفة أن الاحتمالين الأولين غير متزنين من حيث المبدأ، من الأكثر معقولية التمسك بالاحتمال الثالث. بالفعل، هذا هو الاحتمال الوحيد الذي يجب أن نضعه في اعتبارنا كعلماء، لأن قبول أيٍ من الاحتمالين الأولين يعني نهاية مجالنا.

يزعم بعض العلماء أن المبدأ الإنساني الضعيف يجب أخذه بشكل جاد لأنه أدى في الماضي إلى تنبؤات حقيقية. أنا أتكلم هنا عن بعض الأشخاص الذين ينالون إعجابي أكثر - ليس فقط ساسكايند ولكن أيضًا ستيفن وينبرج، عالم الفيزياء الذي، لعلك تذكره من الفصل ٤، معًا مع عبد السلام وحدوا الكهرومغناطيسية مع القوى النووية الضعيفة. من ثم يؤلمني استنتاج أنه في كل حالة نظرت فيها، ثبت أن هذه المزاعم خاطئة.

افترض، على سبيل المثال، الحجة التالية حول خواص نوى الكربون، القائمة على أبحاث أجريت في الخمسينيات بواسطة عالم الفيزياء الفلكية البريطاني العظيم فريد هويل **Fred Hoyle**. يتم اتخاذ هذه الحجة كمؤشر على أن التنبؤات الفيزيائية الحقيقية يمكن أن تقوم على المبدأ الإنساني. تبدأ الحجة برصد أنه من أجل وجود الحياة، لابد أن يكون هناك كربون. بالفعل، الكربون موجود بوفرة. نعرف أنه لم يتم تكوينه في الانفجار الكبير، ومن ثم نعرف أنه لا بد قد تشكل في النجوم. لاحظ هويل أن الكربون يتشكل في النجوم فقط لو أنه كانت هناك حالة تناغم معينة لنوى الكربون. ووصل بين هذا التنبؤ ومجموعة من التجارب، التي توصل إليها.

يتم أحيانًا استخدام نجاح هويل كدعم لفعالية المبدأ الإنساني. لكن الحجة من الحياة في الفقرة السابقة ليس لها علاقة منطقة ببقية الفقرة. ما فعله هويل هو أنه استنتج من الرصد أن الكون مليء بالكربون وهي نتيجة قائمة على ضرورة أن تكون هناك عملية ما بواسطتها تم تكوين كل هذا الكربون. حقيقة أننا والكائنات الحية الأخرى نتكون من كربون غير ضرورية لهذه الحجة.

المثال الآخر الذي يشار إليه غالبًا لدعم المبدأ الإنساني هو تنبؤ عن الثابت الكوني أُعلن عنه في بحث عام ١٩٨٧ لستيفن وينبرج. في هذا البحث، أشار إلى أن الثابت الكوني يجب أن يكون أقل من قيمة معينة، وإلا لكان الكون قد تمدد بسرعة بالغة بحيث لا تتكون المجرات(٢). حيث إننا نلاحظ أن الكون مملوء بالمجرات، يجب أن يكون الثابت الكوني أقل من هذه القيمة. وهو بالقيمة التي يجب أن يكون عليها. هذا علم جيد تمامًا. لكن وينبرج أخذ هذه الحجة العلمية الصحيحة إلى ما هو أبعد. افترض أن هناك كونا متعددا، كما قال، وافترض أن قيم الثابت الكوني موزعة عشوائيًا بين أكوانها المترافقة. عندئذ، من بين الأكوان الحقيقية المحتملة، قد تكون القيمة النموذجية للثابت الكوني لها أكبر قيمة تتسق مع تكوين المجرة. ومن ثم، لو أن سيناريو الكون المتعدد صحيح، علينا توقع أن الثابت الكوني له أكبر قيمة ممكنة، بينما يظل يسمح بتكوين المجرات.

عندما نشر وينبرج هذا التنبؤ، كان من المعتقد أن الثابت الكوني صفر. لذلك كان من اللافت للانتباه أن تنبؤه كان صحيحًا في حدود عامل من عشرة تقريبًا. مع ذلك، عندما أرغمت النتائج الجديدة أقوال وينبرج لفحص أكثر عناية، ظهرت بعض المشاكل. اعتبر وينبرج أن تعداد أكوان يكون فيه فقط توزيع عشوائي للثابت الكوني، بينما تظل كل البارامترات الأخرى ثابتة. بدلاً عن ذلك، كان عليه أخذ متوسط كل أعضاء ثابت الكون المتعدد مع تكوين المجرة، ليسمح لكل البارامترات أن تتغير. وبهذه الطريقة يتضح أن تنبؤ قيمة الثابت الكوني أكثر من ذلك بكثير.

يُظهر ذلك مشكلة مستمرة مع مشكلة من هذا النوع. لو أن السيناريو الخاص بك يستدعي بارامترات موزعة بشكل عشوائي، والتي لا يمكنك أن تلاحظ سوى واحد فقط من مجموعة واحدة، يمكنك الحصول على نطاق واسع من التنبؤات الممكنة، اعتمادًا على الافتراضات الدقيقة التي وضعتها لهذا المجهول، للتعداد غير القابل للملاحظة للمجموعات الأخرى. على سبيل المثال، كل منا هو عضو في مجتمعات كثيرة. في الكثير منها سنكون أعضاءً نموذجيين، لكن في الكثير من المجتمعات الأخرى لن نكون نموذجيين. افترض، في سيرة الكاتب في غلاف الكتاب، أن كل ما كتبته هو أنني شخص نموذجي. ما حجم ما سوف تستنتجه عني؟

هناك حالات أخرى كثيرة حيث يمكن اختبار بعض أنواع من المبدأ الإنساني الضعيف. في النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات الأولية، هناك ثوابت لا تكون لها ببساطة القيم التي قد نتوقعها لها لو تم اختيارها بالتوزيع العشوائي بين تعداد من الأكوان الحقيقية الممكنة. قد نتوقع أن تكون كتل الكوارك واللبتون، فيما عدا الجيل الأول، موزعة عشوائيًا، لكن تمكن رؤية العلاقات بينها. قد نتوقع أن بعض تماثلات الجسيمات الأولية قد تخرقها القوة النووية الشديدة أكثر مما هي عليه. قد نتوقع أن البروتون يتحلل بمعدل أسرع بكثير من الحدود التجريبية المسموح بها حاليًا. في الواقع، لا أعلم بتنبؤات ناجحة تم تقديمها باستنتاجات من كون متعدد ذي توزيع عشوائي للقوانين.

لكن ماذا عن الاحتمال الثالث، وهو تفسير للصداقة مع الحياة في كوننا القائم على فرضيات قابلة للاختبار؟ في ١٩٩٢ وضعت على مائدة البحث

اقتراحًا من هذا النوع فحسب. للحصول على تنبؤات قابلة للاختبار من نظرية كون متعدد، يجب أن يكون تعداد الأكوان بعيدا تمامًا عن أن يكون عشوائيًا. يجب أن يكون ذا بنية معقدة بحيث تكون هناك خواص تجعل كل أو أغلب الأكوان التي تتصف بها لا علاقة لها بوجودنا. يمكننا عندئذ التنبؤ بأن لكوننا هذه الخواص.

إحدى طرق الحصول على مثل هذه النظرية هو محاكاة طريقة عمل الانتقاء الطبيعي في البيولوجيا. ابتكرت مثل هذا السيناريو في الثمانينيات، عندما أصبح من الواضح أن نظرية الأوتار تأتي في عدد كبير جدًا من الأنواع. من كتب لعالم البيولوجيا التطورية ريتشارد داوكنز **Richard Dawkins** ولين مارجوليس **Lynn Margulis**، تعلمت أن علماء البيولوجيا لديهم نماذج تطور قائمة على مكان لأنماط ظاهرية محتملة يطلق عليها مشاهد الصلاحية. تبنيت الفكرة والمصطلح وابتكرت سيناريو توالد الأكوان خلاله من دواخل الثقوب السوداء. في "حياة الكون" (١٩٩٧)، فكرت بإسهاب في تضمينات هذه الفكرة، لذلك لن أعرضها بالتفصيل هنا، سوى قول إن هذه النظرية، التي أسميها الانتقاء الطبيعي الكوني، قدمت تنبؤات حقيقية. في ١٩٩٢، نشرت اثنين منها واستمرتا منذ ذلك الحين، رغم أنه كان من الممكن إثبات خطئهما بالكثير من الأرصاد التي أُنجزت منذ ذلك الوقت. وهما (١) أنه لا يجب أن تكون هناك نجوم نيوترونية أكثر ثقلاً من ١,٦ مرة من كتلة الشمس، و(٢) أن طيف التموجات المتولد عن التضخم – و، والجدير بالثقة، تم رصده في خلفية المايكروويف الكونية – يجب أن يتسق مع أبسط نوع ممكن من التضخم، ببارامتر واحد ومجال تضخم واحد[٣].

هاجم ساسكايند، وليند وآخرون فكرة الانتقاء الطبيعي الكوني، لأنهم زعموا أن تعدد الأكوان الذي تولد في تضخم أبدى سوف يهيمن على أي أعداد نتجت في الثقوب السوداء. لمواجهة هذا الاعتراض، من المهم معرفة مدى مصداقية التنبؤ بالتضخم الأبدي. تبدو الحالة أحيانًا أنه من الصعب أن يكون هناك تضخم على أي حال بدون تضخم أبدي. حقيقة أن بعضا من تنبؤات الكون التضخمي التي تم إثباتها يتم اعتبارها دليلاً عليه. مع ذلك، فإن الانتقال من التضخم إلى التضخم الأبدي يفترض عدم وجود حاجز لاستنتاجات توسعية تتمسك بمقياسنا الكوني الراهن حتى المقاييس الكبرى إلى حد هائل. هناك مشكلتان في ذلك: الأولى أن التقدير الاستقرائي لمقاييس الكبرى في الوقت الراهن يتضمن، في بعض نماذج التضخم، تقديرًا استقرائيًا لمقاييس أصغر بكثير في الكون المبكر. (لن أشرح هذا هنا، لكن هذا صحيح بالنسبة لعدة نماذج تضخم). هذا يعني أنه للحصول على كون متضخم أكثر إلى حد هائل من كوننا الراهن، علينا التوسع في وصف الكون المبكر إلى أزمنة أصغر إلى حد هائل من زمن بلانك، والتي كانت الجاذبية الكمية تهيمن قبلها على تطور الكون. هذا أمر معضل، لأن الوصف العادي للتضخم يفترض أن الزمكان تقليدي، وأنه لا توجد تأثيرات لجاذبية كمية، ويضاف إلى ذلك، أن عدة نظريات للجاذبية الكمية تتنبأ بعدم وجود فترة زمنية أقصر من زمن بلانك. الثانية، هناك مؤشرات على أن تنبؤات التضخم لا تتحقق على المقاييس الكبرى التي يمكننا ملاحظتها حاليًا (انظر الفصل ١٣). ومن ثم، فإن التقدير الاستقرائي من التضخم إلى التضخم الأبدي يقع في مشكلة نظرية ورصدية، وهكذا لا يبدو ذلك اعتراضًا قويًا على الانتقاء الطبيعي الكوني.

على الرغم من حقيقة أن المبدأ الإنساني لم يؤد إلى أي تنبؤات حقيقية وليس من المرجح أن يفعل ذلك، اعتنقه ساسكايند، ووينبرج ورواد نظريون آخرون باعتباره يشير إلى تطور ليس فقط في الفيزياء، ولكن في مفهومنا عن كينونة أي نظرية فيزيائية. يؤكد وينبرج في مقالة حديثة،

أغلب التطورات في تاريخ العلم اتسمت باكتشافات حول الطبيعة، لكن في بعض المنعطفات المحددة أنجزنا اكتشافات حول العلم نفسه... والآن لعلنا في منعطف جديد، تغير جذريا في ما نقبله كأساس معقول لأي نظرية فيزيائية... كلما كانت قيم عدد الاحتمالات أكبر للبارامترات الفيزيائية التي يقدمها مشهد الأوتار، جعلت نظرية الأوتار التفكير المنطقي الإنساني معقولاً باعتباره أساس النظريات الفيزيائية: أي علماء يدرسون الطبيعة عليهم العيش في جزء المشهد حيث تأخذ البارامترات الفيزيائية قيما مناسبة لظهور الحياة وتطورها إلى علماء[٤].

تم تكريم ستيفن وينبرج من وقت قريب لمساهماته في النموذج المعياري، وتقوم كتاباته عادة بتطوير عقلانية مثيرة للاهتمام ومنضبطة. ولكن، ولكن ببساطة، بمجرد أن تفكر منطقيًا بهذا الشكل، فإنك تفقد القدرة على إخضاع نظريتك لنوع من الاختبار الذي أوضح تاريخ العلم المرة تلو الأخرى مطلوب لغربلة النظريات الصحيحة من النظريات الجميلة التي تكون خاطئة. لفعل ذلك، يجب على أية نظرية أن تقدم تنبؤات معينة ودقيقة يمكن إثباتها أو دحضها. لو أن هناك مخاطرة كبيرة في عدم الإثبات، عندئذ يُعتمد على الإثبات كثيرًا. لو أن هناك مخاطرة في كلا الحالتين، عندئذ لن تكون هناك طريقة ما للاستمرار في إنجاز العلم.

الجدل حول كيفية مواجهة العلم لمشهد الأوتار الضخم الحديث يبدو لي أنه يؤول إلى ثلاثة احتمالات:

١- نظرية الأوتار صحيحة، والكون المتعدد العشوائي صحيح، لذلك لجعلهما متلائمين يجب أن نغير القواعد التي تحكم كيفية عمل العلم، لأنه تبعًا للأخلاق العلمية العادية، قد لا نسمح لأنفسنا بالاعتقاد في صحة نظرية ما لا تقدم أية تنبؤات فريدة التي بواسطتها يمكن إثباتها أو دحضها.

٢- سيتم العثور في النهاية على طريقة ما لاستنتاج تنبؤات فريدة حقًا قابلة للاختبار من نظرية الأوتار. قد يتم فعل ذلك إما بتوضيح أن هناك بالفعل نظرية فريدة أو بنظرية كون متعدد غير عشوائي مختلف تؤدي إلى تنبؤات قابلة للاختبار حقًا.

٣- ليست نظرية الأوتار نظرية صحيحة عن الطبيعة. ومن الأفضل وصف الطبيعة بنظرية أخرى، لم يتم اكتشافها بعد أو لم يتم قبولها بعد، والتي ستؤدي إلى تنبؤات حقيقية، ستثبتها التجارب في النهاية.

ما يثير الاهتمام بالنسبة لي هو عدد العلماء المشهورين الذين يبدون غير مقتنعين باحتمال أن تكون نظرية الأوتار أو فرضية الكون المتعدد العشوائي مخطئين. وها هي مجموعة من التعليقات وثيقة الصلة بالموضوع:

> "التفكر المنطقي الإنساني يسير إلى حد بعيد ضد الأهداف التاريخية للفيزياء النظرية التي قاومتها طويلاً بعد إدراك ضرورتها المرجحة. لكنني قد خرجت من ذلك الآن" ---- جوزيف بولشنسكي

"أولئك الذين لا يحبون المبدأ الإنساني يتم التنصل منهم ببساطة" ....أندري ليند

"الوجود المحتمل لمشهد ضخم هو تطور جذاب في الفيزياء النظرية يرغمنا على إعادة التفكير جذريًا في الكثير من افتراضاتنا. وشعوري العميق أنه قد يكون صحيحا".

نيما أركاني- حامد Nima Arkani-Hamed

(جامعة هارفارد)

"أظن أنه من الممكن تمامًا أن يكون المشهد صحيحا".

ماكس تيجمارك Max Tegmark

(معهد مساشوسيتس للتقنية)

حتى إدوارد ويتين يبدو مرتبكًا: "أنا فقط ليس لديّ أي شيء قاطع لأقوله. آمل أننا سنعرف المزيد"(٥).

لا يوجد شخص تم الاقتطاف منه هنا لم أعجب به بعمق. ومع ذلك، بدا لي أن أي شخص منصف لم يقترف بشكل غير عقلاني الاعتقاد بصحة نظرية الأوتار قد يرى هذا الموقف بوضوح. لقد فشلت النظرية في تقديم أية تنبؤات يمكن اختبارها من خلالها، وبعض مناصريها، بالإضافة لعدم

الاعتراف بذلك، يبحثون عن إذن لتغيير القواعد حتى لا تحتاج نظريتهم إلى المرور بالاختبارات العادية التي نفرضها على الأفكار العلمية.

يبدو من المنطقي إنكار هذا الطلب والتأكيد على أننا لا يجب أن نغير قواعد العلم لمجرد إنقاذ نظرية فشلت في إرضاء التوقعات التي انتظرناها في الأصل منها. لو أن نظرية الأوتار لم تقدم تنبؤات فريدة للتجارب، ولو أنها لم تفسر شيئًا حول النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات التي كانت غامضة من قبل – باستثناء القول الواضح بأن علينا العيش في كون يمكننا العيش فيه– فلن يتضح أنها نظرية جيدة جدًا. لقد شهد تاريخ العلم الكثير من النظريات التي فشلت وكانت واعدة في البداية. لماذا لا تكون هذه حالة أخرى مماثلة؟

وصلنا للأسف إلى استنتاج أن نظرية الأوتار لم تأت بتنبؤات جديدة، ودقيقة وقابلة للدحض. لكن مع ذلك، تقدم نظرية الأوتار بعض التأكيدات الصاعقة حول العالم. هل يمكن لتجربة أو رصد أن تظهر ذات يوم دليلاً على أي من هذه السمات المدهشة؟ حتى لو لم يكن هناك تنبؤات تحدد رفع النظرية أو الهبوط بها – تنبؤات من النوع الذي يمكنه القضاء على النظرية أو إثباتها – هل سنرى دليلاً لسمة تعتبر أساسية لوجهة نظر الأوتار عن الطبيعة؟

الجدة الأكثر وضوحًا لنظرية الأوتار هي الأوتار نفسها. لو أننا استطعنا سبر مقياس الوتر، لن تكون هناك مشكلة في رؤية أدلة وفيرة لنظرية الأوتار، لو كانت صحيحة. قد نرى مؤشرات على أن الأشياء الأساسية وحيدة البعد أكثر من كونها شبه نقطة. لكننا لا نستطيع إجراء

تجارب مسارع في أي مكان بالقرب من الطاقات المطلوبة. هل هناك طريقة أخرى لجعل الأوتار تظهر نفسها؟ هل سيتم بطريقة ما حث الأوتار لتصبح أكبر، بحيث يمكننا رؤيتها؟

مثل هذا السيناريو تم اقتراحه حديثًا بواسطة إدموند كوبلاند **Edmond Copland**، وروبرت مايرز **Robert Myers**؛ وجوزيف بولشنسكي. تحت افتراضات معينة خاصة جدًا في علم الكون، قد يكون من الصحيح أن بعض الأوتار بالغة الطول تشكلت في الكون المبكر لتستمر في الوجود[٦]. ولقد أطالها تمدد الكون حتى أصبحت الآن بطول ملايين السنين الضوئية.

لا تقتصر هذه الظاهرة على نظرية الأوتار. لبعض الوقت اقترحت نظرية رائجة حول تشكيل المجرات أنه تم بذرها بوجود أوتار هائلة من التدفق الكهرومغناطيسي المتبقي من الانفجار الكبير. تلك الأوتار الكونية، كما تمت تسميتها، لا علاقة لها بنظرية الأوتار، وكانت نتيجة بنية نظريات القياس. وهي تشبه الخطوط المكممة للتدفق المغناطيسي للموصلات الفائقة، ويمكنها أن تتشكل في الكون المبكر كنتيجة لكون يمر بمرحلة تحولات وهو يبرد. لدينا الآن دليل قاطع من الأرصاد الكونية على أن مثل هذه الأوتار لم تكن المكون الرئيسي في تشكيل بنية الكون، لكن لعله لا يزال هناك بعض الأوتار الكونية الباقية من الانفجار الكبير. يبحث علماء الفلك عنها بالنظر في تأثيرها على الضوء القادم من مجرات بعيدة. لو أن وترا كونيا أصبح بين مجال رؤيتنا ومجرة بعيدة، فقد يعمل المجال الجاذبي للوتر كعدسة، فيضاعف صورة المجرة بطرق مميزة. والأشياء الأخرى، مثل المادة

المظلمة أو مجرة أخرى، قد يكون لها تأثير مشابه، لكن علماء الفلك يعرفون كيفية التمييز بين الصور الناتجة عنها وتلك الناتجة عن وترا كونيا. حديثًا كان هناك تقرير بأن مثل هذه العدسات قد يكون قد تم رصدها. وتمت تسميتها، بشكل متفائل، **CSL-1**، لكن عندما رآها تلسكوب هابل الفضائي اتضح أنها مجرتان قريبتان من بعضهما(٧).

الذي توصل إليه كوبلاند وزملاؤه هو أنه تحت شروط خاصة، قد يشبه وتر أساسي، ممتد إلى أطوال هائلة بتمدد الكون، وترا كونيا. لذلك قد يتم رصده خلال عمله كعدسة. قد يكون مثل هذا الوتر الكوني الأساسي أيضًا شعاعا مذهلا لموجات جاذبية، مما قد يتيح رصده بواسطة **LIGO**، مختبر الليزر لجهاز قياس تداخل موجة الجاذبية.

يعطينا مثل هذا النوع من التنبؤات الأمل في أن يتم في يوم ما إثبات نظرية الأوتار بالأرصاد. ومع ذلك فإن اكتشاف وتر كوني، في حد ذاته، لا يمكن أن يثبت صحة نظرية الأوتار، لأن الكثير من النظريات الأخرى تتنبأ أيضًا بوجود مثل هذه الأوتار. ولا الفشل في العثور على وتر يؤدي إلى دحض نظرية الأوتار، لأن شروط وجود هذه الأوتار الكونية يتم اختيارها بشكل خاص، وليس هناك سبب للتفكير في أنها قد توجد في كوننا.

بجانب وجود الأوتار، هناك ثلاث سمات عامة أخرى لعالم الأوتار. تتوافق كل نظريات الأوتار المتعقلة على أن هناك أبعادا إضافية، وأن كل القوى متوحّدة في قوة واحدة، وأن هناك تماثلا فائقا. لذلك فحتى لو لم يكن لدينا تنبؤات تفصيلية، يمكننا معرفة ما إذا كانت هناك تجربة يمكنها اختباره

هذه الفرضيات. وحيث إنها مستقلة عن نظرية الأوتار، فإن العثور على دليل لصالح أي منها لا يثبت أن نظرية الأوتار صحيحة. لكن هنا لسنا أمام الحالة العكسية: لو عرفنا أنه لا يوجد تماثل فائق أو لا توجد أبعاد أعلى أو لا يوجد توحيد لكل القوى، عندئذ تكون نظرية الأوتار خاطئة.

دعنا نبدأ بالأبعاد الإضافية. قد لا نستطيع رؤيتها، لكن يمكننا بالتأكيد النظر في تأثيراتها. إحدى الطرق لفعل ذلك هو البحث عن قوى إضافية تم التنبؤ بها بواسطة كل نظرية الأبعاد الأعلى. يتم نقل هذه القوى بواسطة مجالات تشكل هندسة الأبعاد الإضافية. مثل هذه المجالات يجب أن تكون هناك، لأنك لا يمكنك حصر الأبعاد الإضافية في إنتاج المجالات والقوى التي رصدناها حتى الآن فقط.

القوى التي تأتي من مثل هذه المجالات من المتوقع أن تكون تقريبًا بقوة الجاذبية، لكنها قد تختلف عن الجاذبية بطريقة أو أكثر: قد يكون لها نطاق محدود، وقد لا تتفاعل بشكل متساو مع كل أنواع الطاقة. بعض التجارب الحالية حساسة بشكل غير طبيعي لمثل هذه القوى المفترضة. منذ نحو عشر سنوات، أظهرت تجربة واحدة دليلاً على وجود مثل هذه القوة، وأُطلق عليها القوة الخامسة. ولم تدعم تجارب إضافية هذا الزعم، وحتى الآن لا يوجد دليل على مثل هذه القوة.

يفترض علماء نظرية الأوتار عادة أن الأبعاد الإضافية بالغة الصغر، لكن الكثير من علماء الفيزياء المجازفين أدركوا في التسعينيات أنه ليس من الضرورة أن تكون الحالة هكذا – يمكن للأبعاد الإضافية أن تكون كبيرة أو حتى لانهائية. هذا ممكن في سيناريو عوالم البران. في مثل هذا التصور،

يكون فضاؤنا ذو الأبعاد الثلاثة هو بران بالفعل – أي، شيء ما مثل الغشاء الفيزيائي لكن له ثلاثة أبعاد – معلق في عالم له أربعة أبعاد مكانية أو أكثر. وجسيمات وقوى النموذج المعياري – الإلكترونات، والكواركات، والفوتونات والقوى التي تتفاعل معها – مقيدة ببران في الأبعاد الثلاثة الذي يشكل عالمنا. لذلك فإنه باستخدام هذه القوى فقط، لا يمكنك رؤية دليل على الأبعاد الإضافية. الاستثناء الوحيد هو قوة الجاذبية. تمتد الجاذبية، لأنها شاملة، خلال كل أبعاد المكان.

تم إنشاء هذا النوع من السيناريوهات لأول مرة بالتفصيل بواسطة ثلاثة علماء فيزياء يعملون في **SLAC**، مركز المسارع الخطي في ستانفورد: نيما أركاني–حامد **Nima Arkani-Hamed**، وجيا دفالي **Gia Dvali**، وسافاس ديموبولوس **Savas Dimopoulos**. ومن المدهش أنهم توصلوا إلى أن الأبعاد الإضافية يمكن أن تكون كبيرة جدًا بدون التعارض مع التجارب المعروفة. لو أنه كان هناك بعدان إضافيان، سيكونان في عرض ملليمتر(٨).

التأثير الأساسي لإضافة أبعاد إضافية كبيرة مثل هذه هو أن قوة الجاذبية في عالم الأبعاد الأربعة أو الخمسة يتضح أنها أقوى بكثير مما تبدو عليه في بران الأبعاد الثلاثة، لذلك تحدث التأثيرات الجاذبية الكمية عند مقياس طول أكبر بكثير مما هو متوقع بطريقة أخرى. في نظرية الكم، يعني مقاس الطول الأكبر طاقة أصغر. بجعل الأبعاد الإضافية بحجم ملليمتر، يمكن الهبوط بمقياس الطاقة حيث يمكن رؤية تأثيرات الجاذبية الكمية – من طاقة بلانك، وهو 10^{19} بليون

إلكترون فولت إلى ١٠٠٠ بليون إلكترون فولت فقط. قد يجيب ذلك عن الأسئلة المستعصية أكثر من غيرها حول بارامترات النموذج المعياري: أي، لماذا يكون لطاقة بلانك هذه القيمة الأعلى من كتلة البروتون؟ لكن المثير للاهتمام بالفعل هو أنها قد تضع ظواهر الجاذبية الكمية في نطاق يتيح إظهارها بواسطة مصادم الهدرونات الكبير LHC، الذي يبدأ في العمل في ٢٠٠٧. من بين هذه التأثيرات قد يكون إنتاج ثقوب سوداء كمية في تصادمات الجسيمات الأولية. سيكون هذا اكتشافا مهما.

النوع الآخر من سيناريو عالم البران تم تطويره بواسطة ليزا راندال **Lisa Randall**، من هارفارد، ورامان ساندرام **Raman Sundrum**، من جامعة جونز هوبكنز. وجدا أن الأبعاد الإضافية يمكن أن تكون لانهائية الحجم ما دام كان هناك ثابت كوني سالب في عالم الأبعاد الأعلى(٩). من المثير للاهتمام، أن هذا يتفق أيضًا مع كل الأرصاد حتى الآن، بل ويقدم تنبؤات لأرصاد جديدة.

تلك أفكار مجازفة ومن العبث التفكير فيها، وأنا معجب بعمق بمن ابتكروها. وقد تم ذكر ما سبق، أنا منزعج من سيناريوهات عالم البران. إنها معرضة لنفس المشاكل التي قضت على المحاولات الأصلية عند التوحيد من خلال الأبعاد الأعلى. تنجح سيناريوهات عالم البران فقط لو أنك قدمت افتراضات خاصة حول هندسة الأبعاد الإضافية والطريقة التي يتلاءم بها عالمنا في سطح الأبعاد الثلاثة. بالإضافة إلى كل المشاكل التي تعاني منها نظريات كالوزا-كلين القديمة، هناك مشاكل جديدة. لو أن هناك برانا يطفو

في عالم الأبعاد الأعلى، ألا يمكن أن يكون هناك الكثير منه؟ ولو أن هناك برانات أخرى، كيف تتصادم في غالب الأمر؟ بالفعل، هناك اقتراحات بأن الانفجار الكبير ظهر من تصادم عوالم بران. لكن لو كان من الممكن أن يحدث ذلك ذات مرة، لماذا لم يحدث منذ ذلك الحين؟ لقد مر ما يقرب من ١٤ مليار سنة. قد تكون الإجابة أن البرانات نادرة، وفي هذه الحالة نعود إلى الاعتماد على أحوال بالغة التناغم بصورة رائعة. أو قد يكون أن البرانات متوازية على وجه الدقة مع بعضها البعض ولا تتحرك كثيرًا، وفي هذه الحالة يكون لدينا مرة أخرى أحوال متناغمة في بصورة رائعة.

خلف هذه المشاكل، تنتابني الشكوك لأن هذه السيناريوهات تعتمد على اختيارات خاصة لهندسات الخلفية، وهذا يتناقض مع الاكتشاف الأساسي لأينشتاين، كما هو معروض في نظريته العامة عن النسبية، أن هندسة الزمكان ديناميكية وأن الفيزياء يجب التعبير عنها بطريقة مستقلة عن الخلفية. ورغم ذلك، هذا هو العلم كما يجب أن يكون: أفكار جريئة قابلة للاختبار بتجارب يمكن إجراؤها. دعنا نكن واضحين، مع ذلك. لو اتضح أن أيا من هذه التنبؤات عن عوالم البران صحيحة، لن تبلغ إثباتًا لنظرية الأوتار. تعتمد نظريات عالم البران على نفسها، ولا تحتاج إلى نظرية الأوتار. وليس هناك تحقيق منجز لنموذج عالم بران في نظرية الأوتار. بالعكس، إذا لم يتم العثور على أي من تنبؤات عوالم البران، لا يعني هذا دحض نظرية الأوتار. عوالم البران هي مجرد إحدى الطرق التي تظهر من خلالها الأبعاد الإضافية لنظرية الأوتار.

التنبؤ العام الثاني لنظرية الأوتار هو أن العالم فائق التماثل. وهنا، أيضًا، لا يوجد تنبؤ قابل للدحض، لأننا نعرف أن التماثل الفائق، لو أنه يصف حقًا العالم الذي نراه، يجب كسره. في الفصل ٥، لاحظنا أن التماثل الفائق قد تتم رؤيته في **LHC**. هذا ممكن لكن لا وسيلة لضمانه، حتى لو كان التماثل الفائق صحيحًا.

لحسن الحظ، هناك طرق أخرى لاختبار التماثل الفائق. يتضمن أحد الاحتمالات المادة المظلمة. في الكثير من الامتدادات فائقة التماثل للنموذج المعياري، يكون أخف الجسيمات الجديدة متزنا ولا يتغير. قد يكون هذا الجسيم المتزن الجديد هو المادة المظلمة. وقد يتفاعل مع المادة العادية ولكن فقط من خلال الجاذبية والقوة النووية الضعيفة. يطلق على مثل هذه الجسيمات **WIMPs**، للجسيمات الثقيلة ضعيفة التفاعل، وقد وصل الكثير من التجارب إلى حد رصدها. تستغل أجهزة الرصد هذه فكرة أن جسيمات المادة المظلمة سوف تتفاعل مع المادة العادية عن طريق القوة الضعيفة. هذا يجعلها تشبه أكثر بكثير الأنواع الثقيلة من جسيمات النيوترينو، التي تتفاعل أيضًا مع المادة فقط من خلال الجاذبية والقوة الضعيفة.

لسوء الحظ، لأن للنظريات فائقة التماثل الكثير جدًا من البارامترات الحرة، ليس هناك تنبؤ خاص لما يجب أن تكون عليه كتلة **WIMPs** أو مدى قوة تفاعلها على وجه الدقة. لكن لو أنها تشكل بالفعل المادة المظلمة، لاستطعنا استنتاج النطاق المحتمل لكتلها، بافتراض أنها لعبت الدور الذي

نظنها تلعبه في تكوين المجرات. من المريح أن النطاق المتنبؤ به في إطار النطاق الذي تقترحه النظرية والتجربة للشريك الفائق الأكثر خفة.

بحث علماء التجارب عن WIMPs باستخدام كشافات تشبه تلك المستخدمة في الكشف عن جسيمات النيوترينو الآتية من الشمس والسوبرنوفا البعيدة. تم إجراء أبحاث واسعة، لكن لم يتم العثور حتى الآن على أي WIMPs. ليس هذا نهائيا بالطبع - وهو يعني فقط أنها إذا كانت موجودة، فإنها تتفاعل أيضًا بشكل ضعيف حتى إنها لا تتلقى أية استجابة من الكشافات. ما يمكن أن يقال هو إنها لو كانت تتفاعل بشدة مع المادة مثل ما تفعل جسيمات النيوترينو، لكان قد تم رؤيتها الآن. برغم ذلك، سيكون اكتشاف التماثل الفائق بأية وسيلة نصرًا مذهلاً للفيزياء.

الأمر الأساسي الذي يجب معرفته هو أنه حتى لو تطلبت نظرية الأوتار أن يكون العالم فائق التماثل على مقياس ما، فإنها لا تقدم أي تنبؤ حول طبيعة هذا المقياس. لذلك، لو لم تتم رؤية التماثل الفائق في LHC، لا يدحض ذلك نظرية الأوتار، لأن المقياس الذي يمكن رؤيته عليه قابل للضبط تمامًا. من جانب آخر، لو تمت رؤية التماثل الفائق، لا يثبت هذه صحة نظرية الأوتار. هناك نظريات عادية تتطلب تماثلاً فائقًا، مثل الامتداد الأصغر فائق التماثل للنموذج المعياري. حتى بين النظريات الكمية للجاذبية، لا تنفرد نظرية الأوتار بالتماثل الفائق، على سبيل المثال، والمقاربة البديلة التي تسمى أنشوطة الجاذبية الكمية تتفق تمامًا مع التماثل الفائق.

نصل الآن إلى التنبؤ العام الثالث لنظرية الأوتار: أن كل القوى الأساسية تصبح موحدة عند مقياس ما. كما في الحالات الأخرى، هذه الفكرة أوسع من نظرية الأوتار، لذلك فإن إثباتها لا يبرهن على أن نظرية الأوتار صحيحة، بالفعل، تسمح نظرية الأوتار بأشكال كثيرة محتملة من التوحيد. لكن هناك شكلا واحدا يعتقد أغلب علماء النظريات أن يمثل التوحيد الكبير. كما ناقشنا في الفصل ٣، يقدم التوحيد الكبير تنبؤًا عامًا، ما دام لم تثبت صحته، أن البروتونات يجب أن تكون غير متزنة وأنها تتحلل عند مقاس زمني ما. بحثت التجارب عن تحلل البروتون وفشلت في الوصول إليه. هذه النتائج (أو نقصها) قضى على نظريات توحيد كبير معينة لكنها لم تقضي على الفكرة العامة. ومع ذلك، فإن الفشل في العثور على تحلل بروتون يبقى قيدًا على النظريات المحتملة، بما في ذلك النظريات فائقة التماثل.

يعتقد عدد كبير من علماء النظرية أن كل هذه التنبؤات العامة سوف يتم إثبات صحتها. وبالتالي، بذل علماء التجارب جهدًا هائلاً في البحث عن أدلة قد تدعمها. ليس من المبالغة القول بأن مئات من الوظائف وملايين الدولارات تم إنفاقها في السنوات الثلاثين الأخيرة في البحث عن علامات للتوحيد الكبير، والتماثل الفائق والأبعاد الأعلى. ورغم هذه الجهود، لم يظهر أي دليل على أي من هذه الفرضيات. إثبات أي من هذه الأفكار، حتى لو لم يتم أخذه باعتباره إثباتا لصحة نظرية الأوتار، قد يكون أول مؤشر على جزء على الأقل من صفقة حزمة بأن نظرية الأوتار المطلوبة جعلتنا نقترب من الواقع أكثر من ابتعادنا عنه.

١٢

ما توضحه نظرية الأوتار

ما الذي نفعله بالقصة الغريبة لنظرية الأوتار أكثر من ذلك؟ مر أكثر من عقدين الآن منذ أول ثورة للأوتار الفائقة. خلال ذلك الوقت، هيمنت نظرية الأوتار على انتباه وموارد الفيزياء النظرية على نطاق العالم – عمل عليها أكثر من ألف من العلماء الأكثر موهبة والأعلى تدريبًا. بينما كان هناك متسع لمعارضة منصفة لجوانب النظرية، عاجلاً أو آجلاً كان من المتوقع أن يجمع العلم أدلة تسمح لنا بالوصول إلى إجماع حول حقيقة النظرية. وأنا منتبه إلى أن المستقبل مفتوح دائمًا، أحب أن أنتهي من هذه الفقرة بتقديم تقدير لنظرية الأوتار باعتبارها اقتراحا لنظرية علمية.

دعني أكن واضحًا. أولاً، أنا لا أقدر تساوي الأعمال، فالكثير من علماء نظرية الأوتار أذكياء وجيدو التدريب وأعمالهم لها أعلى قيمة. ثانيًا، أرغب في الفصل بين مسألة ما إذا كانت نظرية الأوتار منافسا مقنعا بالنسبة لنظرية فيزيائية عن مسألة ما إذا كانت الأبحاث في النظرية أدت إلى تبصرات مفيدة للرياضيات أو المسائل الأخرى في الفيزياء. لا أحد يشكك في أن الكثير من الرياضيات الجيدة جاءت من نظرية الأوتار وأن فهمنا لبعض نظريات القياس تعمق. لكن فائدة المشتقات للرياضيات أو النطاقات الأخرى في الفيزياء ليس دليلاً مع أو ضد صحة نظرية الأوتار كنظرية علمية.

ما أريد تقييمه هو مدى وفاء نظرية الأوتار بوعدها الأصلي كنظرية توحد بين النظرية الكمية، والجاذبية وفيزياء الجسيمات الأولية. نظرية الأوتار إما أنها ذروة الثورة العلمية التي بدأها أينشتاين في ١٩٠٥، أو ليست كذلك. لا يمكن أن يقوم نوع التقييم على فرضيات غير محققة أو تخمينات لم يتم البرهنة على صحتها، أو أي آمال لأنصار النظرية. هذا هو العلم، ويمكن تقييم حقيقة أي نظرية بالاعتماد فقط على النتائج التي تم نشرها في المطبوعات العلمية، لذلك يجب أن نتأنى في التمييز بين الحدس، والدليل والبرهان.

قد يسأل المرء ما إذا كان من المبكر جدًا إجراء مثل هذا التقييم. لكن نظرية الأوتار شهدت تطورًا مستمرًا لأكثر من خمس وثلاثين سنة، ولأكثر من عشرين سنة جذبت انتباه الكثير من أذكى العلماء في العالم. كما أكدت سابقًا، لا يوجد عرف في تاريخ العلم، منذ القرن الثامن عشر على الأقل، لنظرية رئيسية مفترضة أن يمر عليها أكثر من عقد قبل أن تفشل أو تراكم دعمًا تجريبيًا ونظريًا مثيرًا. ولا من المقنع الإشارة إلى مصاعب تجريبية، لسببين: الأول، الكثير من البيانات التي تم ابتكار نظرية الأوتار لتفسيرها موجودة بالفعل، في قيم ثوابت النماذج المعيارية لفيزياء الجسيمات وعلم الكون. ثانيًا، بينما من الصحيح أن الأوتار بالغة الصغر بحيث لا يمكن ملاحظتها مباشرة، أدت النظريات السابقة دائمًا على وجه التقريب وبسرعة إلى ابتكار تجارب جديدة – تجارب لم يكن أحد ليفكر في إجرائها في أي أحوال أخرى.

يضاف إلى ذلك، لدينا الكثير من الأدلة التي يجب وضعها في الاعتبار في إجراء تقييمنا. الكثير من الأشخاص الذين يعملون على نظرية الأوتار قدموا لنا كمية كبيرة للعمل بها. وما قدم توعية أيضًا هي التخمينات والفرضيات التي ظلت مفتوحة رغم التحقيقات المكثفة. أغلب التخمينات المهمة التي لم يتم حلها عمرها عشر سنوات على الأقل، وليس هناك علامة على أنه سيتم حلها قريبًا.

أخيرًا، نظرية الأوتار، نتيجة لاكتشاف مشهد شاسع من النظريات التي ذكرناها في الفصل ١٠، تعاني من أزمة تدفع الكثير من العلماء إلى إعادة النظر في ما وعدت به. لذلك، بينما علينا تذكر أن التطورات الجديدة يمكن أن تغير من الصورة، يبدو أن هذا هو الوقت المناسب لتجربة تقييم لنظرية الأوتار باعتبارها نظرية علمية.

أول خطوة في تقييم أي نظرية هو المقارنة بالرصد والتجربة. تمت مناقشة ذلك في الفصل السابق. وعرفنا أنه حتى بعد كل العمل الذي بذل في نظرية الأوتار، ليس هناك احتمال واقعي لإثبات دقيق أو دحض للتنبؤ الوحيد منها بتجربة قابلة للإجراء حاليًا.

قد يأخذ بعض العلماء ذلك باعتباره سببًا كافيًا للتوقف، لكن نظرية الأوتار تم ابتكارها لحل ألغاز نظرية معينة. حتى في غياب أي اختبار تجريبي، قد نرغب في دعم نظرية تقدم حلولاً جديرة بالثقة لمشاكل بارزة. في الفصل الأول، وصفت خمس مشاكل رئيسية تواجه الفيزياء النظرية.

النظرية التي ستنهي ثورة أينشتاين عليها حل كل هذه المشاكل. بذلك من المناسب تقييم نظرية الأوتار بالسؤال حول أنها فعلت ذلك أم لا.

دعنا نبدأ بتجديد ما نعرفه عن نظرية الأوتار بشكل دقيق.

لا يوجد، بادئ ذي بدء، صيغة كاملة لها. ليس هناك اقتراح مقبول حول ماهية المبادئ الأساسية لنظرية الأوتار، أو ما يجب أن تكون عليه المسائل الرئيسية للنظرية. ولا يوجد برهان على أن مثل هذه الصيغة الكاملة موجودة. ما نعرفه عن نظرية الأوتار يتألف في الغالب من نتائج تقريبية وتخمينات تتعلق بالأنواع الأربعة التالية للنظريات.

١- النظريات المفهومة أكثر من غيرها تُظهر الأوتار تتحرك في خلفيات بسيطة، مثل الزمكان المسطح ذي العشرة أبعاد، بينما تكون هندسة الخلفية غير متغيرة مع الزمن والثابت الكوني صفر. هناك أيضًا الكثير من الحالات حيث يكون بعض من الأبعاد التسعة المكانية ملتفا، بينما البقية مستوية. هناك نظريات نفهمها بشكل أفضل، لأنه يمكن إجراء الحسابات التفصيلية للأوتار والبرانات وهي تتحرك وتتفاعل في هذه الخلفيات.

في هذه النظريات، نصف حركة وتفاعل الأوتار على فضاءات خلفية قياسًا على عماية تقريب تسمى نظرية الاضطراب. ما تمت البرهنة عليه هو أن هذه النظريات تم تعريفها جيدًا وتعطي تنبؤات محددة ومتسقة حتى الدرجة الثانية في مخطط التقريب هذا. النتائج الأخرى تدعم، لكن لم يتم

إثباتها حتى الآن، اتساق هذه النظريات. يضاف إلى ذلك، يصف عدد كبير من النتائج والتخمينات شبكة من علاقات ازدواجية بين هذه النظريات.

مع ذلك، تتعارض كل نظرية من هذه النظريات مع الحقائق الراسخة حول عالمنا. أغلبها له تماثل فائق غير محطم، وهو ما لم يتم رصده في العالم الحقيقي. والقلة التي ليس لها تماثل فائق غير محطم تتنبأ بأن الفرميونات والبوزونات لها شركاء فائقون ذوو كتلة مساوية، وهو ما لم يتم رصده أيضًا، وتتنبأ أيضًا بوجود قوى ذات نطاق لا نهائي بالإضافة إلى الجاذبية والكهرومغناطيسية، وهو من جديد ما لم يتم رصده.

٢- في حالة عالم له ثابت كوني سالب، هناك حجة وجود نوع من نظريات الأوتار يقوم على حدس مالداسينا. ويربط ذلك نظرية الأوتار في فضاءات معينة بثابت كوني سالب بنظريات قياس فائقة التماثل معينة. حتى الآن، لا يمكن تأسيس نظريات الأوتار هذه ودراستها بوضوح إلا بالنسبة لحالات متطرفة خاصة جدًا وعالية التماثل. الأنواع الأكثر ضعفًا من حدس مالداسينا يتم دعمها بواسطة كمية كبيرة من الأدلة، لكن من غير المعروف بشكل دقيق نوع الحدس الصحيح. لو أن النوع الأقوى هو الصحيح، عندئذ تتكافأ نظرية الأوتار مع نظرية القياس، وتعطي هذه العلاقة وصفًا دقيقًا لنظريات الأوتار بثابت كوني سالب. مع ذلك، لا يمكن أن تصف هذه النظريات أيضًا كوننا، لأننا نعرف أن الثابت الكوني موجب.

٣- تم تخمين وجود عدد لانهائي من النظريات الأخرى تتوافق مع الأوتار التي تتحرك في خلفيات أكثر تعقيدًا، حيث لا يكون الثابت الكوني صفرا، وحيث هندسة خلفية الزمكان تتطور مع الزمن، أو حيث الخلفية تتضمن برانات ومجالات أخرى. هذا يتضمن عددًا هائلاً من الحالات التي يكون فيها الثابت الكوني موجبًا، وهو ما يتفق مع الرصد. لذلك كان من المستحيل حتى الآن التعريف الدقيق لنظريات الأوتار هذه أو إجراء حسابات واضحة لاستخراج تنبؤات منها. الدليل على وجودها يقوم على تحقيق ضرورة معينة لكنها بعيدة عن الشروط الكافية.

٤- في أبعاد الزمكان الستة والعشرين، هناك نظرية، بدون فرميونات أو تماثل فائق، تسمى الوتر البوزوني. لهذه النظرية تاكيونات، تؤدي إلى تعبيرات لانهائية، تمثل عدم اتساق النظرية.

تم اقتراح أن كل التخمينات والنظريات التي تم تأسيسها قد تم توحيدها في نظرية أعمق، هي نظرية M. الفكرة الأساسية هي أن كل النظريات التي نفهمها سوف تتفق مع حلول لهذه النظرية الأعمق. هناك دليل على وجودها في الكثير من علاقات الازدواج التي تم تخمينها أو إثبات صحتها بين نظريات الأوتار المختلفة، لكن حتى الآن لم يستطع أحد صياغة مبادئها الأساسية أو كتابة قوانينها.

من هذا الملخص، يمكننا رؤية سبب أن أي تقييم لنظرية الأوتار سيكون مثيرًا للجدل بالضرورة. لو أننا قيدنا انتباهنا على النظريات المعروف وجودها – تلك التي تسمح لنا بإجراء حسابات فعلية وتقديم

تنبؤات– يجب أن نستنتج أن نظرية الأوتار ليس لها علاقة بالطبيعة، لأن كل نظرية مفردة واحدة منها لا تتفق مع البيانات التجريبية. لذلك فإن أمل أن تصف نظرية الأوتار عالمنا الذى يقوم بكامله على الاعتقاد بصحة نظريات أوتار وجودها مجرد تخمين.

ورغم ذلك، فإن الكثير من علماء نظرية الأوتار العاملين يعتقدون بأن النظريات التي تم تخمينها موجودة. ويبدو هذا الاعتقاد قائما على تفكير منطقي غير مباشر، كما يلي:

١- يخمنون أن الصيغة العامة لنظرية الأوتار موجودة ويتم تعريفها بمبادئ مجهولة ومعادلات مجهولة. يتم تخمين أن هذه النظرية المجهولة لها الكثير من الحلول، كل منها يقدم نظرية متسقة لأوتار تنتشر على خلفية زمكان ما.

٢- ثم يكتبون معادلات للنظرية المجهولة. عندئذ يتم تخمين أن هذه المعادلات التقريبية تعطي شروطًا ضرورية لكنها غير كافية لخلفية لها نظريات أوتار متسقة. وهذه المعادلات نسخ من نظرية كالوزا– كلين، وبذلك فإنها تتضمن النسبية العامة وقد امتدت إلى أبعاد أعلى.

٣- لكل من هذه الحلول لهذه المعادلات التقريبية، يخمنون وجود نظرية أوتار، حتى لو كانوا عاجزين على كتابتها بوضوح.

مشكلة هذه الطريقة في التفكير المنطقي هي أن أول خطوة عبارة عن تخمين. لا نعرف ما إذا كانت النظرية أو المعادلات التي تقوم بتعريفها موجودة حقًا أم لا. هذا يجعل الخطوة الثانية تخمينا بالمثل. وأيضًا، لا نعرف

أن المعادلات التقريبية التي تم تخمينها تعطينا شروطًا كافية، كعكس لضرورية، لوجود نظرية أوتار.

هناك خطر في هذا النوع من التفكير المنطقي - بافتراض ما يحتاج إلى إثبات. لو أننا صدقنا افتراضات الحجة، عندئذ يمكن دراسة النظريات المتضمن وجودها باعتبارها أمثلة لنظريات أوتار. لكن يجب تذكر أنها ليست نظريات أوتار، ولا نظريات من أي نوع، وبالأحرى هي حلول لمعادلات تقليدية. تعتمد أهميتها بالكامل على وجود نظريات لم يستطع أي أحد صياغتها وتخمينات لم يستطع أي أحد البرهنة على صحتها. لذلك، يبدو أنه ليست هناك أسباب مقنعة للاعتقاد بأن أي نظرية أوتار لم يتم إنشاؤها بوضوح موجودة.

ما الاستنتاجات التي يمكن استخلاصها من كل ذلك؟ أولاً، بمعرفة حالة المعارف غير الكاملة لنظرية الأوتار، هناك نطاق واسع من السمات المحتملة. وبناءً على ما نعرفه الآن، لعل نظرية ستظهر تلبي الآمال الأصلية. من الممكن أيضًا أنه ليس هناك نظرية حقيقية وأن كل ما هو موجود على الإطلاق هو مجموعة كبيرة من النتائج التقريبية حول حالات مكانية تكون صحيحة فقط لأنها مقيدة بالتماثلات المكانية.

تبدو النتيجة التي لا مهرب منها أن نظرية الأوتار نفسها - أي، نظرية الأوتار التي تتحرك على خلفية زمكان - لن تكون نظرية أساسية. لو أن نظرية الأوتار مناسبة على أي حال للفيزياء، فإن هذا يعود إلى أنها تقدم

دليلاً على وجود نظرية أساسية أكثر. هذا مسلم به بشكل عام، ولهذه النظرية اسم – نظرية M – حتى رغم أنها لم يتم ابتكارها بعد.

قد لا يكون هذا بالسوء الذي يبدو عليه. على سبيل المثال، ليس من المعروف أن أغلب نظريات المجال الكمي توجد عند مستوى مميز. نظريات المجال الكمي التي تدرسها الفيزياء – بما في ذلك الكهرومغناطيسية الكمية، والديناميكي اللونية الكمية، والنموذج المعياري – تشارك نظرية الأوتار في أنهما يتم تعريفهما فقط قياسًا على عملية تقريب. (رغم أنه ثبت أن هذه النظريات تعطي نتائج محددة ومتسقة لكل درجات التقريب). ورغم ذلك، هناك سبب جيد للاعتقاد بأن النموذج المعياري لا يوجد باعتباره نظرية رياضية بشكل متشدد. هذا لا يثير القلق، ما دمنا نعتقد بأن النموذج المعياري هو فقط خطوة نحو نظرية أعمق.

كان يُظن في البداية أن نظرية الأوتار هي هذه النظرية الأعمق. على أساس الأدلة الحالية، علينا الاعتراف بأنها ليست كذلك. مثل نظريات المجال الكمي، تبدو نظرية الأوتار بنية تقريبية تشير (في حدود أنها مناسبة للطبيعة) إلى وجود نظرية أساسية أكثر. هذا لا يجعل نظرية الأوتار غير مناسبة بالضرورة، لكن لإثبات أنها تستحق عليها أن تعمل على الأقل مثل النموذج المعياري. عليها أن تتنبأ بشيء جديد يتضح أنه صحيح وعليها تفسير الظواهر التي تم رصدها. لقد رأينا حتى الآن أنها لم تقم بالدور الأول. فهل تقوم بالدور الثاني؟

يمكننا الإجابة عن ذلك بتخمين كيف تجيب نظرية الأوتار عن المشاكل الخمس المهمة التي تم ذكرها في الفصل ١.

دعنا نبدأ بالأخبار الطيبة. تم تحفيز نظرية الأوتار في الأصل بالمشكلة الثالثة، مشكلة توحيد الجسيمات والقوى. كيف بقيت باعتبارها نظرية توحيد؟

بشكل جيد تمامًا. على خلفيات حيث يتم تعريف نظريات الأوتار المتسقة، تتضمن تذبذبات أي وتر حالات تتفق مع كل الأنواع المعروفة للمادة والقوة. تبرز الجاذبية، الجسيم الذي يحمل قوة الجاذبية، من تذبذب العقد (أي الأوتار المغلقة). والفوتون، الجسيم الذي يحمل القوة الكهرومغناطيسية، يظهر أيضًا من تذبذب وتر. ومجالات القياس الأكثر تعقدًا، قياسًا بفهمنا للقوتين الشديدة والضعيفة، تظهر أيضًا تلقائيًا، أي إن نظرية الأوتار تتنبأ بشكل عام بأن هناك مجالات قياس تماثل هذه المجالات، رغم أنها لا تتنبأ بالخليط الخاص للقوى التي نراها في الطبيعة.

هكذا – على الأقل على مستوى البوزونات، أو الجسيمات الحاملة للقوة، على خلفية الزمكان – توحد نظرية الأوتار الجاذبية مع القوى الأخرى. تظهر كل القوى الأساسية الأربع باعتبارها تذبذبات لنوع أساسي من الأشياء، وتر.

ماذا عن توحيد البوزونات مع جسيمات تشكل المادة، مثل الكواركات والإلكترونات والنيوترونات؟ يتضح أنها تظهر أيضًا باعتبارها حالات تذبذب أوتار، عند إضافة التماثل الفائق. هكذا، توحد نظريات الأوتار فائقة التماثل كل الأنواع المختلفة من الجسيمات مع بعضها بعضا.

يضاف إلى ذلك، تفعل نظرية الأوتار كل هذا بقانون بسيط: أن الأوتار تنتشر خلال الزمكان بحيث تحتل أقل مساحة ممكنة. وأيضًا ليس هناك حاجة لأن تكون هناك قوانين منفصلة تصف كيفية تفاعل الجسيمات، تتبع القوانين التي تتفاعل بها الأوتار مباشرة من قانون بسيط يصف كيفية انتشارها. وحيث إن القوى والجسيمات المختلفة كلها هي مجرد تذبذبات للأوتار، فإن القوانين التي تصفها تتبع ذلك أيضًا. بالفعل، مجمل مجموعة المعادلات التي تصف انتشار وتفاعلات القوى والجسيمات تم استنتاجها من شرط بسيط هو أن أي وتر ينتشر بحيث يحتل أقل مساحة في الزمكان. البساطة الجميلة في ذلك هي التي أثارتنا في الأصل وهي التي حافظت على أن الكثير من الأشخاص كانوا في حالة إثارة بالغة: نوع واحد من الهوية، يلائم قانونًا واحدًا بسيطًا.

ماذا عن المشكلة الأولى في الفصل ١، مشكلة الجاذبية الكمية؟ هنا يكون الموقف مختلطا. الأخبار الطيبة هي أن الجسيمات الحاملة للقوة الجذبوية تأتي من تذبذبات الأوتار، كما أن القوة الجذبوية التي يبذلها أي جسيم تتناسب مع كتلته. هل يؤدي هذا إلى توحيد متسق للجاذبية مع النظرية الكمية؟ كما أكدت في الفصلين ١ و٦، تعتبر النظرية النسبية العامة لأينشتاين نظرية لا تعتمد على الخلفية. هذا يعني أن كل هندسة المكان والزمن ديناميكية، ولا شيء ثابت. يجب أن تكون أية نظرية كمية للجاذبية أيضًا غير معتمدة على الخلفية. يجب أن يظهر المكان والزمن منها، ولا يقومان بدور الخلفية لأنشطة الأوتار.

لم يتم حاليًا صياغة نظرية الأوتار كنظرية لا تعتمد على الخلفية. وهذا هو ضعفها الرئيسي كمرشح لنظرية كمية للجاذبية. نفهم نظرية الأوتار قياسًا على الأوتار والأشياء الأخرى التي تتحرك في خلفية هندسات تقليدية للمكان والتي لا تتطور مع الزمن. لذلك فإن اكتشاف أينشتاين أن هندسة المكان والزمن ديناميكية لم يتم دمجه في نظرية الأوتار.

من المثير التفكير في أنه باستثناء قلة من نظريات البعد الواحد الخاصة، لا توجد نظرية مجال كمي تعتمد على الخلفية دقيقة جدًا. يتم تعريفها كلها فقط قياسًا على إجراءات تقريبية. ربما تشارك نظرية الأوتار في هذه الصفة لأنها تعتمد على الخلفية. من المغري اقتراح أن أي نظرية مجال كمي متسقة يجب ألا تعتمد على الخلفية. لو أن هذا صحيح، يتضمن ذلك أن توحيدًا لنظرية الكم مع النسبة العامة ليس اختياريًا لكنه إجباري.

هناك مزاعم بأن النسبية العامة يمكن استنتاجها، بمعنى معين، من نظرية الأوتار. هذا زعم مهم، ومن المهم فهم المعنى الذي يكون صحيحًا فيه، لأنه كيف يمكن استنتاج نظرية لا تعتمد على الخلفية من نظرية تعتمد على الخلفية؟ كيف يمكن استنتاج نظرية هندسة الزمكان فيها ديناميكي من نظرية تتطلب هندسة ثابتة؟

الدليل على ذلك هو كما يلي: افترض هندسة زمكان واسأل ما إذا كان هناك وصف لميكانيكا الكم متسقا لأوتار تتحرك وتتفاعل في هذه الهندسة. عندما تحقق في هذا المقترح، ستجد أن الشرط الضروري لكي تكون نظرية

الأوتار متسقة هو، لتقريب معين، أن تكون هندسة الزمكان حلاً لمعادلات نوع مرتفع الأبعاد للنسبية العامة. لذلك هناك معنى تظهر فيه معادلات النسبية العامة من شروط أن يتحرك وتر بشكل متسق. هذا هو أساس المزاعم التي يقدمها علماء نظرية الأوتار لاستنتاج النسبية العامة من نظرية أوتار.

رغم ذلك، هناك طريقة ما. ما وصفته توًا هو الموقف في وتر بوزوني أصلي ذي ستة وعشرين بعدًا. لكن، كما تمت ملاحظته، لهذه النظرية عدم اتزان، التاكيون، لذلك فإنها ليست نظرية قابلة للتطبيق. لجعلها متزنة، نستطيع جعلها فائقة التماثل. ويؤدي التناظر الفائق إلى شروط ضرورية إضافية لتحقيق هندسة خلفية. في الوقت الراهن فإن نظريات الأوتار فائقة التماثل الوحيدة المعروف بالتفصيل أنها متسقة توجد في خلفية زمكان لا يتطور مع الزمن[١]. لذلك في هذه الحالات لا يمكن التأكيد على أن كل النسبية العامة تُسترد كتقريب في نظرية أوتار فائقة التماثل. من الصحيح أن الكثير من حلول النسبية العامة يتم استرجاعه، بما في ذلك كل الحلول التي يكون فيها بعض من الأبعاد مسطحة وأخرى ملتفة. لكن هناك ما هو خاص جدًا، الحل العام للنسبية العامة يصف عالم تتغير هندسته للزمكان مع الزمن. ويمسك ذلك بتبصر أينشتاين الجوهري بأن هندسة الزمكان ديناميكية وتتطور. لا يمكنك أن تسترجع فقط تلك الحلول التي لا تعتمد على الزمن وتستمر في القول بأن النسبية العامة مستنتجة من نظرية أوتار. ولا يمكنك أيضًا الزعم بأن لديك نظرية جاذبية، حيث إن الكثير من الظواهر الجذبوية التي تتضمن اعتمادًا على الزمن تمت ملاحظتها.

استجابة لذلك، يخمن بعض علماء نظرية الأوتار أن هناك نظريات أوتار متسقة على خلفيات زمكان تتغير مع الزمن لكنها أكثر صعوبة في دراستها فحسب. لا يمكن أن تكون فائقة التماثل، وفي حدود معرفتي، ليس هناك بنية واضحة لمثل هذه النظريات. الدليل عليها من نوعين. الأول، هناك حجة بأن على الأقل كمية صغيرة من الاعتماد على الزمن يمكن إدخالها بدون إحداث اضطراب في الشروط المطلوبة للتخلص من التاكيون وجعل النظرية متسقة. هذه الحجة معقولة، لكن بدون بنية تفصيلية من الصعب الحكم عليها. الثاني، تم تحقيقها في بعض الحالات الخاصة بالتفصيل، ومع ذلك، فإن أكثرها نجاحًا لها تماثل خفي في الزمن، لذلك تعتبر غير مناسبة. وللأخرى مشاكل ممكنة مع حالات عدم الاتزان، أو تتحقق فقط عند مستوى معادلات تقليدية لا تمتد بما يكفي لتوضيح ما إذا كانت موجودة حقًا أم لا. ورغم ذلك هناك حالات أخرى لها اعتماد على الزمن سريع جدًا، يتحكم فيه مقياس نظرية الأوتار نفسها.

في غياب بنية واضحة لنظرية أوتار في زمكان عام يعتمد على الزمن، أو دليل حتمي على وجودها دون افتراض وجود نظرية أعلى **meta-theory**، لا يمكن التأكيد الآن على أن كل النسبية العاملة يمكن استنتاجها من نظرية أوتار. تلك قضية أخرى تظل مفتوحة، ليتم حسمها في أعمال في المستقبل.

قد يظل المرء يتساءل حول ما إذا كانت نظرية الأوتار تعطي نظرية متسقة تتضمن الجاذبية والنظرية الكمية في تلك الحالات حيث يمكن بناء النظرية بوضوح. أي، هل يمكننا على الأقل وصف الموجات الجذبوية

والقوى بالغة الضعف بحيث يمكن رؤيتها بالكاد وهي تحدث تماوجًا لهندسة المكان؟ وهل يمكننا فعل ذلك بالاتساق الكامل مع النظرية الكمية؟

يمكن فعل ذلك إلى تقريب معين. وحتى الآن، لم تنجح بالكامل محاولات إثبات ذلك في ما وراء مستوى التقريب هذا، رغم الكثير من الأدلة الإيجابية التي تم تجميعها ولم يظهر أي مثال يدحض النظرية. بالتأكيد من المعتقد على نطاق واسع لدى علماء نظرية الأوتار أنها صحيحة. وفي نفس الوقت، تبدو عقبات إثبات صحتها قوية. يعطي منهج التقريب، نظرية الاضطراب، إجابات لأية أسئلة بجمع عدد لانهائي من الحدود. بالنسبة للحدود الأولى المتعددة، يكون كل منها أصغر مما قبله، لذلك تحصل على تقريب بمجرد جمع بضعة حدود. هذا ما يتم فعله عادة في نظرية الأوتار ونظرية المجال الكمي. لإثبات أن النظرية محدودة، عليك، حينئذ، إثبات أنه لأي حساب عليك إجراؤه للإجابة عن سؤال فيزيائي، يكون كل عدد لانهائي من الحدود محدودا.

هذا هو وضع الأمور الآن. أول حد محدود بوضوح، لكنه يتوافق مع الفيزياء التقليدية، لذلك لا يوجد ميكانيكا كم فيه. الحد الثاني، الأول الذي يمكن أن يكون لانهائيا، يمكن بسهولة توضيح أنه محدود. احتاج الأمر حتى ٢٠٠١ للحصول على برهان كامل على محدودية الحد الرابع. كان عملاً بطوليًا، تحقق خلال سنوات كثيرة بواسطة إريك دهوكر **Eric D`Hoker** في **UCLA**، ومعاونه ديونج ه. فونج **Duong H. Phog**، في جامعة كولومبيا[٢]. كانا يعملان منذ ذلك الحين على الحد الرابع. يعرفان الكثير عن هذا الحد

لكن ليس لديهما برهان حتى الآن على أنه محدود. ما إذا كانا سينجحان في إثبات أن كل الحدود اللانهائية محدودة يظل أمرًا ينتظر الحسم. جزء من المشكلة التي يواجهانها هي أن خوارزمية كتابة النظرية تصبح غامضة بعد الحد الثاني، لذلك يحتاجان إلى أن يجدا أولاً التعريف الصحيح للنظرية قبل أن يستطيعا محاولة إثبات أنها تعطي إجابات محدودة.

كيف يمكن أن يكون ذلك؟ ألم أوضح أن نظرية الأوتار تقوم على قانون بسيط جدًا؟ المشكلة أن القانون بسيط فقط عندما يتم تطبيقه على النظرية الأصلية في الأبعاد الستة والعشرين. عندما يضاف التماثل الفائق، تصبح أكثر تعقيدًا إلى حد ما.

هناك نتائج إضافية، توضح لكل حد أن تعبيرات لانهائية معينة ممكنة تكون قد حدثت لا تظهر بالفعل. تم نشر برهان قوى من هذا النوع في ١٩٩٢ بواسطة ستانلي ماندلستام. وحديثًا تم إحراز كمية كبيرة من التقدم بواسطة ناثان بيركوفيتس **Nathan Berkovits**، عالم فيزياء أمريكي اختار بسعادة العمل في ساو باولو. ابتكر بيركوفيتس صيغة جديدة لنظرية أوتار فائقة. أنجز برهانًا جيدًا لكل حد في نظرية الاضطراب، يخضع فقط لزوج من الافتراضات الإضافية. من المبكر جدًا القول بما إذا كان من السهل إلغاء هذين الافتراضين الإضافيين. ورغم ذلك، هذا تقدم حقيقي نحو البرهان. قضية المحدودية ليست قضية تلقى الكثير من الانتباه من أغلب علماء نظرية الأوتار، ولديّ احترام بالغ للقلة التي لا تزال تعمل بجهد على هذه المشكلة.

هناك قضية أخرى تثير القلق تحيط بالمحدودية. في النهاية، حتى لو اتضح أن كل حد في الحساب محدود، يتم استنتاج الإجابة الدقيقة للحساب بجمع كل الحدود. حيث إنه من المطلوب إضافة عدد لانهائي من الحدود، يمكن أن تكون النتيجة من جديد لانهائية. بينما لم يتم بعد إجراء هذا الجمع، هناك دليل (شديد التقنية بحيث لا يمكن وصفه هنا) على أن النتيجة ستكون لانهائية. الطريقة الأخرى لقول ذلك هي أن إجراء التقريب يأتي فقط بالغ القرب من التنبؤات الحقيقية ومن ثم يتباعد عنها. تلك سمة شائعة للنظريات الكمية. وهي تعني أن نظرية الاضطراب، بينما تعتبر أداة مفيدة، لا يمكن استخدامها لتعريف النظرية.

في الدليل الراهن، بدون توفر برهان أو مثال دحض، من المستحيل ببساطة معرفة ما إذا كانت نظرية الأوتار محدودة. يمكن قراءة الدليل بأي من الطريقتين. بعد الكثير من العمل المجهد (وإن كان بحفنة من الأشخاص فقط)، هناك براهين جزئية متعددة. يمكن قراءة ذلك إما باعتباره دليلاً واضحًا على أن الحدس صحيح أو أن شيئًا ما خاطئ. لو أن علماء الفيزياء الموهوبين هؤلاء كانوا قد حاولوا وفشلوا، ولو أن كل محاولة بقيت غير مكتملة، قد يعود هذا إلى أن الحدس الذي يجربون البرهنة على صحته خاطئ. سبب أن علماء الرياضيات ابتكروا فكرة البرهان وجعله معيارًا للتصديق هو أن الحدس الإنساني ثبت في أغلب الأحيان أنه معيب. يتضح أحيانًا أن الحدس الذي يعتقد في صحته على نطاق واسع خاطئ. هذه ليست قضية صرامة رياضية. لا يسعى علماء الفيزياء كما هو المعهود إلى نفس

مستوى الصرامة التي يطالب بها أقرباؤهم علماء الرياضيات. وهناك عدد من النتائج النظرية المثيرة والمقبولة على نطاق واسع ليس لها برهان رياضي. لكن هذه ليست إحدى هذه الحالات. ليس هناك برهان على محدودية نظرية الأوتار حتى على مستوى فيزيائي صارم.

بعد أن عرفنا ذلك، ليس لديّ وجهة نظر حول ما إذا كانت نظرية الأوتار فائقة التماثل سوف يتضح أنها محدودة أم لا. لكن لو أن هناك شيئا ما أساسي جدًا بالنسبة لمزاعم الظن بأن نظرية ما صحيحة، يجب التوسع في العمل لتحويل هذا الحدس إلى برهان. للتأكد، هناك الكثير من الحالات حيث يظل الحدس الرائج غير مبرهن عليه لأجيال، لكن هذا يرجع عادة إلى فقد تبصرات مهمة. حتى لو برهنت النتيجة النهائية على ما يؤمن الجميع بصحته على أي حال، يجازى الجهد عادة بفوزنا بتبصر أكثر عمقًا في مجال الرياضيات الذي كان وراء ميلاد الحدس في الأصل.

سوف نعود إلى سبب أن محدودية نظرية الأوتار قضية خلافية إلى هذه الدرجة. لكن الآن، علينا أن نلاحظ ببساطة أنها ليست مثالاً معزولاً. الكثير من حالات الحدس المهمة التي قادت ثورتي الأوتار لا يزال بلا برهان. وهذا يتضمن ثنائية القوي- الضعيف وثنائية مالداسينا. وفي الحالتين، هناك الكثير من الأدلة على أن نوعا ما من العلاقة بين النظريات المختلفة صحيح. حتى لو أن التكافآت التامة المزعومة في حالات الحدس خاطئة، فهذه أفكار ونتائج مهمة. لكن في أي تعليل واقعي، علينا التمييز بين الحدس، والدليل والبرهان.

البعض يزعم أن حدس مالداسينا يقدم برهانًا مستقلاً على أن نظرية الأوتار تعطي نظرية كمية جيدة للجاذبية، على الأقل في حالة هندسات معينة. ويؤكدون على أن نظرية الأوتار تكون مكافئة بدقة في بعض الحالات لنظرية قياس عادية في ثلاثة أبعاد مكانية، وتعطي نظرية كمية جيدة للجاذبية وذات مصداقية لأي درجة تقريب.

مشكلة هذا الزعم هو أن النوع القوى، كما تمت ملاحظته، من حدس مالداسينا يظل بدون برهان. هناك دليل لافت للانتباه على علاقة ما بين نظرية الأوتار فائقة التماثل لمالداسينا في العشرة أبعاد ونظرية القياس الفائقة إلى أقصى حد، لكن ما لدينا الآن ليس يعد برهان للحدس الكامل. الدليل فحسب كما تم تفسيره بسهولة بكونهما تكافؤا جزئيا فقط بين النظريتين، اللتين لم يتم تعريف أي منهما بدقة. (حديثًا كان هناك تقدم في مقاربة نظرية القياس من خلال مخطط تقريب ثانيا، يسمى نظرية القياس الشبيكة **lattice gauge theory**). الدليل الراهن يتسق مع حدس مالداسينا عن التكافؤ الكامل خاطئ، سواء لأن النظريتين مختلفتان في الواقع أو لأن إحداهما أو كلتيهما لا يوجد، إذا توخينا الدقة. من جانب آخر، لو اتضح أن النوع القوي من حدس مالداسينا صحيح – وهو ما يتسق أيضًا مع الدليل الراهن – عندئذ تقدم نظرية الأوتار نظريات كمية جيدة للجاذبية، في الحالة الخاصة التي يكون فيها للخلفيات ثابت كوني سالب. يضاف إلى ذلك، قد تكون هذه النظريات مستقلة عن الخلفية جزئيًا، وفي هذه الحالة يتم توليد مكان ذى تسعة أبعاد من فيزياء الأبعاد الثلاثة للمكان.

هناك دليل آخر على أنه يمكن لنظرية الأوتار أن تتيح توحيد الجاذبية مع نظرية الكم. تتضمن أقوى النتائج برانات وثقوب سوداء. هذه النتائج غير عادية، لكنها، كما ناقشنا في الفصل ٩، لا تذهب بعيدًا بما يكفي. فهي محدودة جدًا بثقوب سوداء خاصة تمامًا، ويبدو أن هناك أملا ضئيلا في أن تمتد النتائج الدقيقة للثقوب السوداء بشكل عام، بما في ذلك أنواع يُعتقد أنها موجودة في الطبيعة، وقد تعود النتائج إلى التماثل الزائد لدى هذه الثقوب السوداء الخاصة. وأخيرًا، لا تتضمن نتائج نظرية الأوتار وصفًا فعليًا لهندسة كمية لثقوب سوداء خاصة، وهي محدودة بدراسة نموذج نظم البران التي تشترك في الكثير من الخواص مع الثقوب السوداء الموجودة في الزمكان المسطح العادي، وتمت دراستها في تقريب تكون فيه القوة الجذبوية متوقفة.

يرى البعض أن نظم البران الخارجية هذه ستصبح ثقوبًا سوداء عندما تعود القوة الجذبوية إلى العمل. لكن نظرية الأوتار لا يمكنها أن تلاحق هذا القول بوصف تفصيلي لكيفية تشكل الثقب الأسود. ولكي تفعل ذلك، قد تحتاج إلى نظرية أوتار تعمل في زمكان يتطور مع الزمن، ولقد رأينا أن ذلك غير موجود الآن.

حيث إن النتائج الأصلية عن ثقوب سوداء، كان هناك عدد من الاقتراحات الخيالية حول كيفية وصف الثقوب السوداء الحقيقية في نظرية الأوتار. لكنها تعاني كلها من مشكلة عامة، وهي أنها متى انحرفت عن الثقوب السوداء الخاصة حيث يمكننا استخدام التماثل الفائق للحسابات، أو عندما نحاول الدخول للسؤال عن ما يحدث في المفردة، نكون بشكل لا يمكن

تجنبه في نظام حيث يتطور الزمكان مع الزمن. لا يمكن للتماثل الفائق أن يعمل هنا، ولا كل أدوات الحساب الجميلة التي تعتمد عليه. لذلك يبقى لدينا نفس المأزق الذي يصيب الكثير جدًا من أبحاث نظرية الأوتار: نحصل على نتائج مدهشة لحالات خاصة جدًا، ونعجز عن تقرير ما إذا كانت النتائج تمتد إلى مجمل النظرية أو تكون صحيحة فقط في الحالات الخاصة، حيث يمكننا إجراء الحسابات.

بمعرفة هذه الحدود، هل يمكن الزعم بأن نظرية الأوتار تحل ألغاز إنتروبيا الثقب الأسود، ودرجة الحرارة وفقدان المعلومات المتضمنة في اكتشافات جاكوب بيكنشتاين وستيفن هواكنج؟ الإجابة هي أنه بينما هناك نتائج موحية، لا تستطيع نظرية الأوتار بعد الزعم بأنها حلت هذه المشاكل. بالنسبة للثقوب السوداء المتطرفة والقريبة من التطرف، ينتج عن الحسابات باستخدام نموذج نظم البرانات كل تفاصيل الصيغ التي تصف الديناميكا الحرارية التي تتفق مع الثقوب السوداء. لكن هذه ليست ثقوب سوداء، إنها مجرد نظم مقيدة بمتطلبات وجود كمية كبيرة من التماثل الفائق للحصول على الخواص الحرارية للثقوب السوداء. لا تتيح النتائج وصفًا للهندسة الكمية الفعلية للثقوب السوداء. ومن ثم لا تفسر نتائج بيكنشتاين وهاوكنج وفقًا للوصف الميكروسكوبي للثقوب السوداء. ويضاف إلى ذلك، كما تمت ملاحظته، تنطبق النتائج فقط على نوع خاص جدًا من الثقوب السوداء وليس على تلك التي تحظى باهتمام فيزيائي حقيقي.

للتلخيص: على أساس النتائج الراهنة، لا يمكننا التأكيد بثقة على أن نظرية الأوتار تحل مشكلة الجاذبية الكمية. الدليل مختلط. بتقريب معين، يبدو أن نظرية الأوتار توحد بشكل متسق النظرية الكمية والجاذبية وتعطي إجابات ملموسة ومحددة. لكن من الصعب الحكم بما إذا كان هذا صحيحا بالنسبة للنظرية في مجملها. هناك دليل يدعم شيئًا ما مثل حدس مالداسينا، لكن لا يوجد برهان على الحدس الكامل نفسه، وفقط سيسمح الحدس الكامل لنا بالتأكيد على وجود نظرية كم جيدة للجاذبية. صورة الثقب الأسود لافتة للانتباه لكن فقط للثقوب السوداء غير المألوفة التي تقدم لها نظرية الأوتار نموذجًا. وراء ذلك، هناك مشكلة حالية غير مسبوقة بأن نظرية الأوتار ليست مستقلة عن الخلفية وحتى في هذه الحدود لا يمكنها حتى الآن وصف أي شيء سوى الخلفيات الساكنة حيث لا تتطور الهندسة مع الزمن.

ما يمكننا قوله هو أنه في هذه الحدود هناك دليل ما على أن نظرية الأوتار تشير إلى وجود توحيد متسق للجاذبية والنظرية الكمية. لكن هل نظرية الأوتار نفسها هي هذا التوحيد المتسق؟ في غياب حل لهذه المشاكل، لا يبدو ذلك مرجحًا.

دعنا نعد إلى المشاكل الأخرى في قائمة الفصل ١. المشكلة الرابعة هي تفسير قيم بارامترات النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات. من الواضح أن نظرية الأوتار فشلت إلى أبعد حد في فعل ذلك، وليس هناك سبب للاعتقاد بأنها يمكنها فعل ذلك. وبدلاً عن هذا، كما ناقشنا في الفصل ١٠،

يقترح الدليل أن هناك عددا هائلا من نظريات الأوتار المتسقة حتّى إن النظرية سوف تقدم القليل من أي تنبؤات في هذه النقطة.

المشكلة الخامسة هي تفسير ماهية المادة المظلمة والطاقة المظلمة، وتفسير قيم الثوابت في علم الكون. هنا لا يكون الموقف جيدا أيضًا. نظريات الأوتار، حيث إنها تتضمن بشكل نموذجي الكثير من الجسيمات والقوى أكثر مما تم رصده، تقدم عددًا من المرشحين للمادة المظلمة والطاقة المظلمة. بعض الجسيمات الإضافية يمكن أن يكون المادة المظلمة. لكن نظرية الأوتار لا تقدم تنبؤات معينة لما قد يكونه الكثير من المرشحين المحتملين للمادة المظلمة والطاقة المظلمة.

على سبيل المثال، من بين المرشحين المحتملين للمادة المظلمة جسيم يسمى أكسيون **axion** (كلمة تشير إلى خواص معينة، لن أدخل فيها). والكثير من نظريات الأوتار، وليس كلها، تحتوي على أكسيونات، لذلك يبدو ذلك في البداية أمرا طيبا. لكن معظم نظريات الأوتار التي تحتوي على أكسيونات تتنبأ بأن لها خواص لا تتفق مع النموذج المعياري الكوني. لذلك يبدو هذا أمرًا سيئًا. لكن عندئذ يكون هناك الكثير جدًا من نظريات الأوتار بعضها قد يحتوي على أكسيونات تتسق مع النموذج الكوني. من الممكن أيضًا أن النموذج الكوني مخطئ في هذه النقطة. لذلك من المقبول القول بأنه لو كانت الأكسيونات هي المادة المظلمة، يتسق هذا مع نظرية الأوتار. لكن هذا بعيد جدًا عن القول بأن نظرية الأوتار إما أنها تتنبأ بأن المادة المظلمة هي أكسيون أو تقدم أية تنبؤات إضافية يمكن أن تدحض من خلالها أرصاد المادة المظلمة نظرية الأوتار.

المشكلة المتبقية على لائحتنا هي رقم ٢: المشاكل الأساسية في ميكانيكا الكم. هل تقدم نظرية الأوتار أي حل لهذه المشكلة؟ الإجابة هي لا. لم تقل نظرية الأوتار أي شيء مباشرة حول المشاكل في أسس نظرية الكم.

لذلك هنا المحاسبة. خارج المشاكل المهمة، في الإمكان أن تحل نظرية الأوتار إحدى هذه المشاكل بشكل كامل، وهي مشكلة التوحيد بين الجسيمات والقوى. تلك هي المشكلة التي حفزت ابتكار نظرية الأوتار ولا تزال تمثل نجاحها الأكثر إثارة للإعجاب.

هناك دليل على أن نظرية الأوتار تشير إلى حل لمشكلة الجاذبية الكمية، لكنها في أحسن الأحوال تشير إلى وجود نظرية أعمق تحل مشكلة الجاذبية الكمية أكثر من أن تكون هي نفسها حلاً.

في الوقت الراهن، لا تحل نظرية الأوتار أي من المشاكل الثلاث المتبقية. وتبدو عاجزة عن تفسير بارامترات النماذج المعيارية للفيزياء وعلم الكون. وهي تقدم قائمة من المرشحين المحتملين للمادة المظلمة والطاقة المظلمة لكنها لا تتنبأ بهما ولا تفسرهما بشكل لا مثيل له. وحتى الآن ليس لدى نظرية الأوتار ما تقوله حول اللغز الأكبر بين كل الألغاز، وهو معنى النظرية الكمية.

وما وراء ذلك، هل هناك أية نجاحات للحديث عنها؟ أحد الأماكن التي نبحث فيها عن نجاحات عادة لنظرية ما هو في التنبؤات التي تقدمها لتجارب أو أرصاد جديدة. وكما قلنا، لا تقدم نظرية الأوتار إطلاقًا أي تنبؤات من هذا

النوع. قوتها هي أنها توحد أنواع الجسيمات والقوى التي نعرفها. لو لم نكن نعرف شيئًا عن الجاذبية، مثلاً، يمكننا التنبؤ بوجودها من نظرية الأوتار. لا يعتبر هذا تافهًا. لكنه ليس تنبؤًا بتجربة جديدة. يضاف إلى ذلك، ليس هناك احتمال لدحض النظرية – إثبات أنها خاطئة – بالوصول إلى أن تجربة أو رصدًا لا يتفق مع تنبؤات النظرية.

لو أن نظرية الأوتار لا تقدم أية تنبؤات، عندئذ علينا على الأقل السؤال حول كيفية تفسيرها للبيانات لدينا. هنا يكون الموقف غريبًا. بسبب الحالة الناقصة للمعرفة، علينا تقسيم نظريات الأوتار الكثيرة الممكنة إلى مجموعتين والتحقق من كل منها على انفراد. المجموعة الأولى تتكون من نظريات الأوتار المعروف أنها موجودة، وتحتوي الثانية على تلك النظريات التي تم تخمين أنها موجودة لكن لم يتم إنشاؤها بعد.

وبسبب الأرصاد الحديثة بأن تمدد الكون يتسارع، نحن مرغمون على التركيز على نظريات الأوتار من النوع الثاني، حيث إنها هي الوحيدة التي تتفق مع هذه النتائج. لكننا لا نعرف كيف نحسب احتمالات حركة الأوتار وتفاعلها في هذه النظريات. ولا نستطيع توضيح أن هذه النظريات موجودة، والدليل الذي لدينا عنها هو في خلفياتها التي تفي بمطالب ضرورة معينة لكنها بعيدة عن الشروط الكافية. لذلك حتى في أفضل الحالات، لو أن هناك أية نظرية أوتار تصف كوننا، يجب ابتكار تقنيات جديدة لحساب تنبؤات للتجارب تنجح في هذه النظريات الجديدة. كل نظريات الأوتار المعروفة، كما لاحظنا، لا تتفق مع الحقائق المرصودة حول عالمنا: لأغلبها تماثل فائق غير محطم، وتتنبأ الأخرى بأن الفرميونات والبوزونات تأتي على هيئة أزواج بكتلة

متساوية، وكلها تتنبأ بوجود نطاق لانهائي (ولم يرصد حتى الآن) من القوى. من الصعب تجنب استنتاج أن نظرية الأوتار، مهما كان قد تحفيزها بشكل جيد، فشلت في تحقيق الآمال التي علقها الكثيرون عليها منذ عشرين سنة.

في قمة ١٩٨٥، كان أحد أكثر المؤيدين حماسة للنظرية الثورية الجديدة هو دانيل فريدان **Daniel Friedan** في معهد إنريكو فيرمي في جامعة شيكاغو. وها هنا ما قاله في بحث حديث:

فشلت نظرية الأوتار كنظرية فيزياء بسبب وجود الاحتمالات المتعددة لخلفية الزمكان... الأزمة طويلة الأمد لنظرية الأوتار هي فشلها التام في تفسير أو التنبؤ بأية فيزياء للمسافة البعيدة. لا تستطيع نظرية الأوتار قول أي شيء محدد حول فيزياء المسافة البعيدة. نظرية الأوتار عاجزة عن أن تحدد بعد، وهندسة، وطيف الجسيم وثوابت التزاوج للزمكان العياني. لا تستطيع نظرية الأوتار تقديم أي تفسيرات محددة لوجود معرفة بالعالم الحقيقي ولا يمكنها تقديم أية تنبؤات محددة. لا يمكن تقييم مصداقية نظرية الأوتار، ومن باب أولى رسوخها. ليس لنظرية الأوتار مصداقية كنظرية مرشحة للفيزياء[٣].

ورغم ذلك، ثابر عليها الكثير من علماء نظرية الأوتار. لكن كيف يحدث أن يستمر الكثير من الأشخاص اللامعين، في مواجهة المشاكل التي كنا نناقشها، في العمل على نظرية الأوتار؟

إحدى النقاط التي تلقى تعاطفًا من علماء نظرية الأوتار هي أن النظرية جميلة، أو "أنيقة". ذلك نوع من الحكم الجمالي قد لا يوافق الناس عليه، لذلك لست متأكدًا من كيفية تقييمه. على أي حال، ليس له دور في أي

تقدير موضوعي لإنجازات النظرية. كما رأينا في الجزء ١، اتضح أن الكثير من النظريات الجميلة ليس لها علاقة بالطبيعة.

يرى بعض علماء نظرية الأوتار الشباب أنه حتى لو لم تنجح نظرية الأوتار باعتبارها توحيدا نهائيا، فإن لها منتجات جانبية تضيف فهمًا لنظريات أخرى. ويشيرون بشكل خاص إلى حدس مالداسينا، الذي ناقشناه في الفصل ٩، الذي يقدم طريقة لدراسة نظريات قياس معينة من حسابات من السهل إجراؤها في نظرية الجاذبية المناظرة. ينجح هذا بالتأكيد بشكل جيد بالنسبة للنظريات ذات التماثل الفائق، لكن لو كان مناسبًا للنموذج المعياري، فلا بد أن يعمل بشكل جيد مع نظريات القياس التي ليس لها تماثل فائق. في هذه الحالة هناك تقنيات أخرى، والسؤال هو كيفية مقارنة حدس مالداسينا بها. لم يصدر الحكم بعد. حالة الاختبار الجيدة هي أبسط نوع لنظرية قياس حيث يكون فيها بعدان فقط للمكان. لقد تم حلها حديثًا، باستخدام تقنية لا تدين بشيء للتماثل الفائق أو نظرية الأوتار[٤]. يمكن دراستها أيضًا من خلال مقاربة ثالثة – القوة الضارية للحساب بواسطة حاسب. يُعتقد أن حسابات الحاسب جديرة بالثقة، لذلك يمكنها القيام بدور معيار يتم في مواجهته مقارنة تنبؤات المقاربات الأخرى. وتوضح مثل هذه المقارنة أن حدس مالداسينا ليس بجودة التقنيات الأخرى[*].

(*) حديثًا جدًا تم تطبيق هذه التقنيات بنجاح على QCD في حالة العالم الحقيقي ذي الأبعاد الثلاثة.

يشير بعض علماء النظريات أيضًا إلى تطورات محتملة في الرياضيات كسبب للاستمرار في العمل على الأوتار. يتضمن أحد التطورات المحتملة هذه هندسة فضاءات الأبعاد الستة التي يدرسها علماء نظرية الأوتار باعتبارها أمثالا ممكنة للأبعاد المدمجة. في بعض الحالات، تم التنبؤ بخواص غير متوقعة مثيرة للانتباه لهذه الهندسات ذات الأبعاد الستة، باستخدام رياضيات نظرية الأوتار. تم الترحيب بذلك، لكن يجب أن نكون واضحين حول ما حدث. لم يكن لهذا صلة بالفيزياء. ما حدث وقع فقط على مستوى رياضي: اقترحت نظرية الأوتار تخمينات تربط البنى الرياضية المختلفة. اقترحت نظريات الأوتار أن خواص هندسات الأبعاد الستة يمكن التعبير عنها باعتبارها بنى رياضية أبسط يمكنها أن تحدد أسطح البعدين التي تجتاحها الأوتار في الزمن. اسم هذه البنية هو المجال المتزاوي **conformal field** (الذي يحافظ على قيمة الزاوية دون مَنحاها – المترجم). ما تم اقتراحه هو أن خواص فضاءات معينة ذات أبعاد ستة تم عكسها في بنى نظريات هذا المجال الزاوي. أدى ذلك إلى علاقات مدهشة بين أزواج فضاءات الأبعاد الستة. هذا نتيجة جانبية من نظرية الأوتار. ولكي تكون مفيدة، ليس علينا الاعتقاد بأن نظرية الأوتار نظرية للطبيعة. لسبب واحد، تلعب نظرية المجال الزاوي دورًا في الكثير من التطبيقات المختلفة، بما في ذلك فيزياء المادة المكثفة والجاذبية الكمية للأنشوطة. لذلك ليس لها علاقة فريدة مع نظرية الأوتار.

هناك حالات أخرى أدت خلالها نظرية الأوتار إلى اكتشافات في الرياضيات. في إحدى الحالات بالغة الجمال، أدى نموذج لعبة لنظرية

الأوتار يسمى نظرية الأوتار الطوبولوجية إلى تبصرات جديدة مثيرة للانتباه في طوبولوجيا الفضاءات ذات الأبعاد الأعلى. ومع ذلك، ليس هذا في حد ذاته دليلا على أن نظرية الأوتار صحيحة في ما يخص الطبيعة، لأن نظريات الأوتار الطوبولوجية هي أنواع مبسطة لنظرية الأوتار ولا توحد القوى والجسيمات التي يتم رصدها في الطبيعة.

بشكل أكثر عمومية، حقيقة أن نظرية فيزيائية ما تحفز تطورات الرياضيات لا يمكن استخدامها كحجة لصحة النظرية باعتبارها نظرية فيزيائية. لقد حفزت نظريات خاطئة الكثير من التطورات في الرياضيات. ولعل نظرية بطليموس لأفلاك التدوير قد حفزت تطورات في علم المثلثات ونظرية الأعداد، لكن هذا لا يجعلها صحيحة. وحفزت فيزياء نيوتن تطور الأجزاء الرئيسية في الرياضيات، واستمرت في فعل ذلك، لكن هذا لم ينقذ فيزياء نيوتن عندما لم تتفق مع التجربة. وهناك الكثير من الأمثلة على نظريات قامت على رياضيات جميلة لم تلق نجاحًا أبدًا ولم يتم تصديقها أبدًا، النظرية الأولى لكبلر عن المدارات الكوكبية هي المثال البارز. لذلك فإن حقيقة أن بعض حالات حدس الرياضيات الجميلة يحفزها برنامج أبحاث لا يمكنها إنقاذ نظرية ليس لها مبادئ مركزية مصوغة بوضوح ولا تقدم تنبؤات فيزيائية.

المشاكل التي تواجهها نظرية الأوتار تمتد مباشرة حتى جذور مشروع التوحيد بكامله. في الجزء الأول من الكتاب، حددنا عقبات هائلة كانت تصيب مبكرًا نظريات التوحيد – عقبات أدت إلى إخفاقها. بعضها يتضمن محاولات توحيد العالم بإدخال أبعاد أعلى. واتضح أن هندسة الأبعاد الأعلى بعيدة عن

أن تكون فريدة ومحطمة بحالات عدم التوازن. السبب الأساسي، كما رأينا في الفصول السابقة، هو أن للتوحيد دائمًا عواقب، التي تتضمن وجود ظواهر جديدة. في الحالات الجيدة - مثل نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية، والنظرية الكهروضعيفة لوينبرج وعبد السلام، والنسبية الخاصة، والنسبة العامة - ومت رؤية هذه الظواهر الجديدة بسرعة. تلك هي الحالات النادرة حيث يمكننا الاحتفال بالتوحيد. في محاولات أخرى للتوحيد، لم تتم رؤية الظواهر الجديدة بسرعة، أو أنها كانت لا تتفق بالفعل مع الرصد. وبدلاً عن الاحتفال بعواقب التوحيد، كان على علماء النظرية أن يحاولوا بذكاء إخفاء العواقب. لا أعرف أي حالات حيث أدى حجب العواقب في النهاية إلى نظرية جيدة، وعاجلاً أم آجلاً، تم التخلي عن التوحيد الذي كان موضوع المحاولة.

اتضح أن كلاً من التماثل الفائق والأبعاد الإضافية هي حالات حيث يجب إنفاق جهد هائل لإخفاء عواقب عمليات التوحيد المقترحة. لم يتضح أن أي جسيمين معروفين مرتبطين بالتماثل الفائق، وبدلاً عن ذلك فإن كل جسيم معروف له شريك مجهول، وعليك أن تضبط تناغم الكثير من البارامترات الحرة لهذه النظريات لتحافظ على عدم رؤية الجسيمات المجهولة. في حالة الأبعاد الأعلى، لا تتفق كل حلول النظرية تقريبًا مع الأرصاد. والحلول النادرة التي يظهر عنها شيء ما مثل عالمنا تكون جزر غير مستقرة في محيط هائل من الاحتمالات، وتبدو كلها تقريبًا غريبة تمامًا(٥).

هل يمكن لنظرية الأوتار تجنب المشاكل التي أصابت نظريات الأبعاد الأعلى والتماثل الفائق السابقة؟ ليس هذا من المرجح، حتى لو كان السبب

فقط أن هناك الكثير لإخفائه أكثر بكثير مما كان في نظرية كالوزا-كلين أو النظريات فائقة التماثل. الآلية التي تم اقتراحها بواسطة جماعة ستانفورد لموازنة الأبعاد الأعلى قد تنجح. لكن التكلفة عالية، حيث تؤدي إلى تمدد هائل في مشهد الحلول التي يتم الحدس بها. ومن ثم، فإن ثمن تجنب المشاكل التي قضت على نظرية كالوزا-كلين هي، في أحسن الأحوال، تبني وجهة النظر التي رفضها علماء نظريات الأوتار في البداية، وهي أنه يجب أخذ عدد هائل من نظريات الأوتار الممكنة بشكل جاد على السواء باعتباره أوصافا محتملة للطبيعة. وهذا يعني أن الأمل الأصلي لتوحيد فريد من نوعه، ومن ثم لتنبؤات قابلة للدحض حول فيزياء الجسيمات الأولية، يجب التخلي عنه.

في الفصل ١١، ناقشنا مزاعم ساسكايند، ووينبرج وآخرون بأن مشهد نظريات الطبيعة قد يكون طريقًا إلى الأمام للفيزياء ووجدنا أن هذه المزاعم غير مقنعة. إلى أين، إذن، يقودنا ذلك؟ في لقاء حديث، زعم ساسكايند أن الرهانات هي قبول المشهد والضعف في المنهج العلمي الذي يتضمنه والتخلي عن العلم كلية وقبول التصميم الذكي **ID** كتفسير لاختيارات بارامترات النموذج المعياري:

لو اتضح، لبعض الأسباب غير المتوقعة، أن المشهد غير متسق – ربما لأسباب رياضية، أو لأنه لا يتفق مع الرصد – فأنا متأكد إلى حد ما أن علماء الفيزياء سيواصلون البحث عن تفسيرات طبيعية للعالم. لكن عليّ القول إنه لو حدث ذلك، كما تحدث الأمور الآن سوف نكون في موقف مربك جدًا. بدون أي تفسير للتناغمات الدقيقة للطبيعة سنكون مجبرين بشدة على

الإجابة على نقاد التصميم الذكي. قد يقول المرء إن الأمل في حل رياضي فريد سيظهر باعتباره قائما على الإيمان مثله مثل التصميم الذكي(٦).

لكن هذا اختيار خاطئ. كما سنرى بعد قليل، هناك نظريات أخرى تقدم إجابات حقيقية عن الأسئلة الخمسة بالغة الأهمية، وهي تتطور بسرعة. التخلي عن نظرية الأوتار لا يعني التخلي عن العلم، لكنه يعني فقط التخلي عن اتجاه واحد كان مفضلاً ذات مرة وفشل في تقديم ما كان مأمولاً منه، لكي يتركز الانتباه على اتجاهات أخرى تبدو الآن مرجحة أكثر للنجاح.

تنجح نظرية الأوتار في ما يكفي من الأشياء بحيث يصبح من المعقول الأمل في أن أجزاء منها، أو ربما شيء ما يشبهها، قد تؤلف نظرية ما في المستقبل. لكن هناك أيضًا دليلا مقنعا على أن شيئًا ما يسير بشكل خاطئ. كان من الواضح منذ الثلاثينيات أن نظرية الكم للجاذبية يجب أن تكون مستقلة عن الخلفية، لكن لا يزال هناك القليل من التقدم نحو مثل هذه الصيغة لنظرية أوتار يمكنها وصف الطبيعة. وفي غضون ذلك، أدى البحث عن نظرية للطبيعة وحيدة، وفريدة وموحدة إلى حدس بعدد لانهائي من النظريات، ولم يكن من الممكن كتابة أي منها بأية تفاصيل. ولو كانت متسقة، فإنها قادت إلى عدد لانهائي من الأكوان المحتملة. على قمتها، فإن كل الأنواع التي يمكننا دراستها بأية تفاصيل لا تتفق مع الأرصاد. ورغم عدد حالات الحدس المثيرة للغيظ، لا يوجد دليل على أن نظرية الأوتار يمكنها أن تحل العديد من المشاكل الكبيرة في الفيزياء النظرية. وهؤلاء الذين يصدقون حالات الحدس هذه يجدون أنفسهم في كون مختلف عقلانيًا عن

أولئك الذين يصرون على أن يصدقوا فقط ما يدعمه الدليل الحالي. ونفس حقيقة أن مثل هذا التباعد الهائل بين وجهات نظر تستمر في مجال تقليدي للعلم لهي في حد ذاتها مؤشر على شيء ما خاطئ إلى حد كبير.

ومن ثم، هل لا يزال من المجدي دراسة نظرية الأوتار، أو يجب إعلان فشلها، كما يقترح البعض؟ حقيقة أن آمالاً كثيرة قد خابت وظل الكثير من حالات الحدس المهمة بدون برهان قد يكون سببًا كافيًا لدى البعض للتوقف عن العمل في نظرية الأوتار. لكنها ليست أسبابًا تجعل الأبحاث تتوقف تمامًا.

ماذا لو حدث في وقت ما في المستقبل أن وجد شخص ما طريقة لصياغة نظرية أوتار تؤدي بشكل فريد من نوعه إلى نموذج معياري لفيزياء الجسيمات، وكانت مستقلة عن الخلفية، وتعيش فقط في العالم غير المتماثل بشكل فائق ذي الأبعاد الثلاثة الذي نرصده. حتى لو بدت فرص العثور على مثل هذه النظرية ضئيلة، فإن هذا محتمل - يؤكد على الحكمة العامة القائلة بأن تنوع برامج الأبحاث أمر صحي للعلم، وهي نقطة سوف نعود إليها لاحقًا.

لذلك فإن نظرية الأوتار هي بالتأكيد بين الاتجاهات التي تستحق المزيد من التحقيق. لكن هل سوف يستمر النظر إليها كنموذج مهيمن على الفيزياء النظرية؟ هل يجب أن يستمر أغلب الموارد الموجهة صوب حل المشاكل المهمة في الفيزياء النظرية في دعم أبحاث نظرية الأوتار؟ وهل يجب أن تستمر المقاربات الأخرى تعاني الحرمان لصالح نظرية الأوتار؟ هل يجب

أن يكون علماء نظرية الأوتار فقط هم المؤهلون للوظائف الأكثر رفعة ولمنح الأبحاث، كما هي الحالة الآن؟ أظن أن الإجابة عن كل هذه الأسئلة يجب أن تكون بلا. لم تكن نظرية الأوتار ناجحة بما يكفي على أي مستوى لتبرر استثمار كل ما لدينا تقريبًا في مشروع واحد.

ماذا لو لم تكن هناك مقاربات أخرى تستحق العمل عليها؟ دافع بعض علماء نظرية الأوتار داعمين نظرية الأوتار لأنها "المباراة الوحيدة في المدينة". وقد أجادل بأنه حتى لو كانت هذه هي الحالة، علينا أن نشجع بقوة علماء الفيزياء وعلماء الرياضيات على استكشاف مقاربات بديلة. لو لم تكن هناك أية أفكار أخري، حسنًا، دعنا نبتكر بعضا منها. حيث إنه ليس هناك أمل في المدى القريب أن تقدم نظرية الأوتار تنبؤات قابلة للدحض، ليس هناك تعجل بشكل خاص. دعنا نشجع الناس على البحث عن مسار أسرع للإجابة عن الأسئلة الخمسة المهمة للفيزياء النظرية.

في الحقيقة هناك مقاربات أخرى – نظريات وبرامج أبحاث أخرى تهدف إلى حل هذه المشاكل الخمسة. وبينما كان أغلب علماء النظرية يركزون على نظرية الأوتار، كان هناك قلة من الأشخاص ينجزون الكثير من التقدم في تطوير هذه المجالات. الأكثر أهمية، هناك تلميحات لاكتشافات تجريبية جديدة، لا تنتسب لنظرية الأوتار، والتي، إذا ثبتت صحتها، سوف توجه الفيزياء إلى اتجاهات جديدة. هذه التطورات النظرية والتجريبية الجديدة هي موضوع الجزء التالي من الكتاب.

الجزء الثالث

ما بعد نظرية الأوتار

١٣

مفاجآت من العالم الحقيقي

ترك لنا الفيلسوف اليوناني هرقليطس قولاً مأثورًا رائعًا: الطبيعة تحب التخفي. هذا صحيح في أغلب الأوقات. لم تكن هناك أية طريقة يستطيع هرقليطس من خلالها رؤية ذرة ما. ولا قيمة لتأملات زملائه الفلاسفة حولها، فلقد كانت رؤية ذرة بعيدة عن أية تقنية تخيلوها. في هذه الأيام، يستفيد علماء النظريات كثيرًا من ميل الطبيعة للتخفي. لو أن الطبيعة ذات تماثل فائق بالفعل، أو أن لها أكثر من ثلاثة أبعاد للمكان، فإنها تكون قد أخفت ذلك بشكل جيد.

لكن أحيانًا يكون العكس صحيحًا. أحيانًا تكون الأمور المهمة أمامنا مباشرة، هناك تنتظر أن نراها. المختفي في المشهد المنبسط عن هرقليطس كانت حقائق يسهل إدراكها ونحن الآن نسلم بصحتها، مثل مبدأ القصور الذاتي أو التسارع الثابت للأشياء الساقطة. ولم تستخدم ملاحظات جاليلو عن الحركة على الأرض التلسكوب أو الساعة الميكانيكية. وبقدر معرفتي كان من الممكن صناعتهما في زمن هرقليطس. كان عليه فقط أن يطرح الأسئلة الصحيحة.

لذلك، بينما نرثي لمدى صعوبة اختبار الأفكار الكامنة خلف نظرية الأوتار، يجب أن نتساءل عن ما يمكن أن يكون مختفيًا في المشهد المنبسط حولنا. في تاريخ العلم، كانت هناك الكثير من الأمثلة لاكتشافات أدهشت العلماء لأن النظرية لم تكن تتوقعها. هل هناك اليوم أرصاد لم نتساءل حولها نحن علماء النظريات، لوم تكن أية نظرية تشجعها – أرصاد يمكنها تحريك الفيزياء في اتجاه مثير؟ هل هناك فرصة أن يكون قد تم إنجاز مثل هذه الأرصاد بالفعل لكن تم تجاهلها لأنها ستكون، لو ثبتت صحتها، غير ملائمة لتنظيرنا؟

الإجابة عن هذه الأسئلة هي نعم. هناك العديد من النتائج التجريبية الحديثة تشير إلى ظواهر جديدة لا يشك فيها أغلب علماء نظرية الأوتار وعلماء الجسيمات. لم يرسخ أي منها بشكل كامل. في حالات قليلة، تكون النتائج جديرة بالثقة لكن التفسيرات كانت مثار نزاع، وفي حالات أخرى، النتائج جديدة جدًا ومدهشة حتى إنه لا يمكن قبولها على نطاق واسع[١]. لكن من المجدي شرحها هنا، لأن أي من هذه التلميحات تسلم إلى اكتشاف حقيقي، عندئذ يكون هناك سمات مهمة للفيزياء الأساسية لم يتم التنبؤ بها بأي نوع من نظريات الأوتار وسيكون من الصعب تقبلها. وستكون المقاربات الأخرى لازمة وليست اختيارية.

دعنا نبدأ بالثابت الكوني، الذي يُعتقد بأنه يمثل الطاقة المظلمة التي تسارع من تمدد الكون. كما تمت مناقشته في الفصل ١٠، لم تكن هذه الطاقة قد تم توقعها بواسطة نظرية الأوتار، ولا بأغلب النظريات، وليس لدينا فكرة

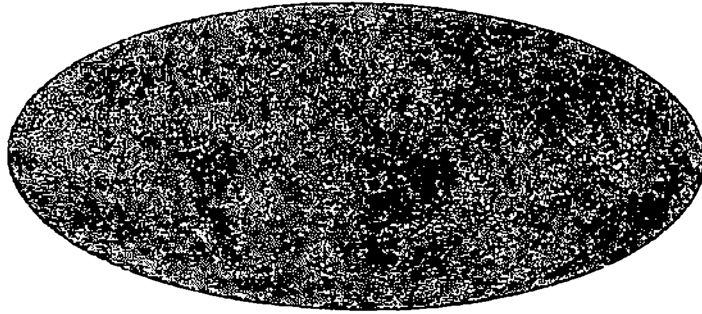
عن ما يحدد قيمتها. فكر الكثير من الناس بجهد في ذلك لعدة سنوات، ونحن تقريبًا لم نصل إلى أي مكان. وأيضًا ليس لديّ أية إجابة، لكن لديّ اقتراح حول الكيفية التي يمكن أن نجد بها إجابة. دعنا نتوقف عن محاولة تبرير قيمة الثابت الكوني قياسًا بالفيزياء المعروفة. لو لم تكن هناك طريقة لتبرير ظاهرة ما على أساس ما نعرفه، عندئذ قد تكون تلك علامة على أننا نحتاج البحث عن شيء ما جديد. ربما الثابت الكوني هو عرض لشيء آخر، وفي هذه الحالة قد تكون له مظاهر أخرى. كيف سنبحث عنها، أو نتعرف عليها؟

ستكون الإجابة بسيطة، لأن ظواهر الكون بسيطة في نهاية الأمر. تتصف القوى في الفيزياء بمجرد أعداد قليلة – على سبيل المثال، المسافة التي تقطعها قوة ما والشحنة التي تخبرنا بمدى شدتها. الذي يصف الثابت الكوني هو مقياس، وهو مقياس المسافة الذي يحني به الكون. يمكننا أن نسمى هذا المقياس R. وهو حوالي ١٠ مليارات سنة ضوئية أو ١٠^٢٧ سنتيمترًا[٢]. الغريب حول الثابت الكوني أن مقياسه هائل مقارنة بالمقاييس الأخرى في الفيزياء. حجم المقياس R أكبر ١٠^٤٠ مرة من حجم النواة الذرية و١٠^٦٠ مرة من حجم مقياس بلانك (وهو ١٠^-٢٠ مرة حجم البروتون). لذلك من المنطقي التساؤل حول ما إذا كان مقياس R يجب أن يعكس فيزياء جديدة تمامًا. قد تكون المقاربة الجيدة البحث عن ظواهر تحدث على نفس المقياس الهائل.

هل يحدث أي شيء أيضًا على مقياس الثابت الكوني؟ دعنا نبدأ بعلم الكون نفسه. الأرصاد الكونية الأكثر دقة لدينا هي قياسات لخلفية

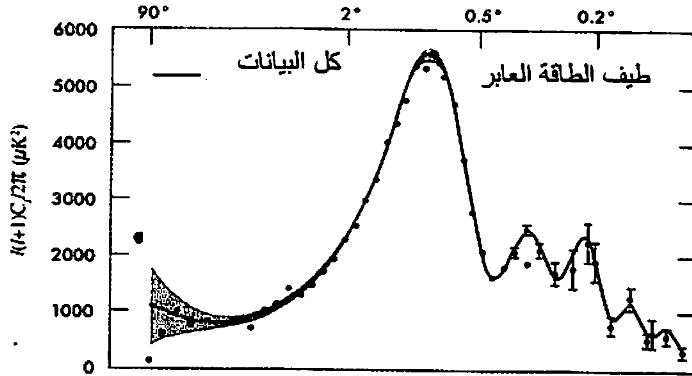
المايكروويف الكوني. إنها الإشعاع الباقي من الانفجار الكبير، والذي يأتي إلينا من كل الاتجاهات في السماء. الإشعاع حراري لا غير - أي، عشوائي. ولقد تم تبريده مع تمدد الكون، وهو الآن عند درجة حرارة ٢،٧ درجة كلفن. ودرجة الحرارة متماثلة عبر السماء إلى درجة دقة عالية، ولكن عند مستوى بضعة أجزاء من ١٠٠٠٠٠ هناك تموجات فيها (انظر أعلى الشكل ١٣). نمط التموجات يعطينا أدلة مهمة عن فيزياء الكون المبكر نفسه.

خلال العقود الأخيرة، تم تحديد التموج الحراري لخلفية المايكروويف بواسطة الأقمار الاصطناعية، والكشافات المحمولة على بالونات، والكشافات في القواعد الأرضية. إحدى طرق فهم ما تقيسه هذه التجارب هي التفكير في التموجات باعتبارها موجات صوت في الكون المبكر. من المفيد، عندئذ، التساؤل حول مدى ارتفاع صوت التموجات عند أطوال موجات مختلفة. تعطينا النتائج صورة، كما هو موضح في الشكل ١٣، وهو ما يخبرنا بكمية الطاقة الموجودة عند أطوال موجات مختلفة.



−200μK 200μK

مقياس زاوي



الشكل ١٣- علوي: السماء كما تتم رؤيتها عند ترددات مايكروويف. الإشارات التي انتقلت منها مجرتنا تركت صورة للكون كما كان في الزمن الذي برد خلاله إلى نقطة أصبحت عندها الإلكترونات والبروتونات مرتبطة في الهيدروجين. السفلي: توزيع الطاقة في الصورة العلوية عند أطوال موجات مختلفة. تمثل النقاط بيانات من WMAP والأرصاد الأخرى، والمنحني مطابق لتنبؤات النموذج الكوني المعياري.

يهيمن على الصورة قمة كبيرة، تتبعها قمم أصغر. يعتبر اكتشاف هذه القمم أحد انتصارات العلم المعاصر. ولقد فسرها علماء الكون على أنها تشير إلى أن المادة التي كانت تملأ الكون المبكرة كانت رنانة، تشبه كثيرًا رأس طبل أو جسم آلة النفخ الفلوت. تتناسب طول الموجة التي تتذبذب عندها آلة موسيقية ما بحجمها، والأمر نفسه صحيح بالنسبة للكون. تخبرنا مراتب الرنين بمدى ضخامة الكون عندما أصبح لأول مرة شفافًا: أي، عندما تطورت البلازما الأولى الساخنة، أو "تفككت"، إلى ممالك منفصلة من المادة والطاقة منذ نحو ثلاثمائة ألف سنة بعد الانفجار الكبير، وعند هذا الزمن أصبحت خلفية المايكروويف مرئية. هذه الأرصاد ذات فائدة بالغة في ربط بارامترات نماذجنا الكونية.•

السمة الأخرى التي نراها في البيانات هي أن هناك طاقة ضئيلة جدًا في طول الموجة الأطول. قد يكون هذا مجرد تموج إحصائي، لأنه يتضمن عددًا قليلاً من أجزاء البيانات. لكن لو لم يكن ضربة حظ إحصائية، يمكن تفسيره باعتباره يشير إلى حد ما، ما فوقه تكون مراتب الرنين أقل إثارة للاهتمام بكثير. ومن المثير أن هذا الحد عند مقياس **R**، يكون مصاحبًا للثابت الكوني.

وجود مثل هذا الحد محير من وجهة نظر النظرية التي تلقى قبولاً واسعًا عن الكون المبكر جدًا، وهو التضخم. تبعًا لنظرية التضخم، يتمدد الكون أسيًا بسرعة خلال فترة واحدة مبكرة إلى أقصى حد. يبرر التضخم الأرصاد الدالة على أن إشعاع الخلفية الكوني متماثل تقريبًا. ويفعل ذلك

بضمان أن كل أجزاء الكون التي نراها الآن لعلها كانت في اتصال سببي عندما كان الكون لا يزال بلازما.

تتنبأ النظرية أيضًا بتموجات في خلفية المايكروويف الكوني، والتي من المفترض أنها بقايا التأثيرات الكمية خلال فترة التضخم. يتضمن مبدأ عدم اليقين أن المجالات التي تهيمن على طاقة الكون خلال التضخم تتماوج، وأن هذه التموجات تصبح مطبوعة على هندسة المكان. مع تمدد الكون أسيًا، تبقى هذه التموجات، وتؤدي إلى تموجات في درجة حرارة الإشعاع الناتج عن الكون الذي أصبح شفافًا.

يُعتقد أن التضخم أنتج منطقة ضخمة من الكون ذات خواص متماثلة نسبيًا. ويُعتقد أن هذه المنطقة لها حجم أكثر مرات كثيرة من المنطقة المرصودة، بسبب حجة بسيطة حول المقاييس. لو أن التضخم توقف فقط عند نقطة حيث أوجد منطقة بالضخامة التي نرصدها الآن، فلا بد أنه كان هناك بارامترات ما في فيزياء التضخم اختارت زمنًا خاصًا للتوقف، والذي حدث فحسب في زمننا. لكن هذا يبدو بعيد الاحتمال، لأن التضخم حدث عندما كان للكون درجة حرارة من عشرة إلى عشرين ضعف في المقدار أكبر من مركز أكثر النجوم سخونة في يومنا هذا، بذلك لعل القوانين التي تحكمت فيه كانت قوانين مختلفة، والتي هيمنت على الفيزياء فقط في هذه الشروط المتطرفة. هناك الكثير من الفرضيات حول القوانين التي حكمت التضخم،

ولا تقول أية فرضية فيها أي شيء عن مقياس زمن ١٠ مليارات سنة. الطريقة الأخرى لتوضيح ذلك على ما يبدو أنه لم تكن هناك أية طريقة لكي تكون للقيمة الحالية للثابت الكوني علاقة بالفيزياء التي سببت التضخم.

لذلك لو أن التضخم أنتج كونًا متماثلاً على المقياس الذي نرصده، من المرجح أنه أنتج كونًا متماثلاً على مقاييس أكبر. ويتضمن ذلك بدوره أن نمط التموجات الناتجة عن التضخم لا بد أنها استمرت، مهما نظرت إلى ما هو أبعد من ذلك. لو استطعت رؤية ما وراء الحجم الحالي للكون المرصود، ستستمر في رؤية تموجات صغيرة في خلفية المايكروويف الكوني. وبدلاً عن ذلك، تشير البيانات إلى أن التموجات قد تكون توقفت فوق مقياس **R**.

بالفعل، مع اختبار علماء الكون مراتب الرنين ذات المقياس الكبير في خلفية المايكروويف، وجدوا الكثير من الألغاز. إنه عنصر إيمان لدى علماء الكون أنه عند المقاييس الأكبر لا بد أن يكون الكون متماثلاً – أي، يجب أن يكون أي اتجاه مشابه لأي اتجاه آخر. وهذا ما لا تتم رؤيته. الإشعاع في مراتب الرنين الأكبر هذه غير متماثل، هناك اتجاهات مفضلة. (أُطلق عليها "محور الشر" بواسطة عالمي الكون كيت لاند **Kate Land** وجوو ماجويجو **Joao Magueijo**)[٣]. وليس لدى أي شخص أي تفسير معقول عن هذه الظاهرة.

هذه الأرصاد مثيرة للجدل لأنها تخالف بشدة ما قد نتوقعه على أساس التضخم. حيث إن التضخم يفسر الكثير جدًا من علم الكون، يشك الكثير من العلماء الحذرين في أن هناك خطأ ما في بيانات المايكروويف. بالفعل، من المحتمل دائمًا أن تكون القياسات خاطئة فحسب. الكثير من التحليل الدقيق تم

تطبيقه على البيانات قبل تقديمها. أحد الأمور التي تم إنجازها هو حذف الإشعاع المعروف أنه يأتي من المجرة التي نعيش فيها. لعل هذا قد تم فعله بشكل غير صحيح، لكن القليل من الخبراء المعتادين على تفاصيل تحليل البيانات يعتقدون أن هذا ما حدث. الاحتمال الآخر، كما تمت ملاحظته، هو أن أرصادنا هي مجرد شذوذات إحصائية. أي تذبذب بطول موجة مقياس **R** يستنفد جزءًا ضخمًا من السماء – نحو ٦٠ درجة، وبالتالي نرى فقط القليل من أطوال الموجات، ويكون هناك فقط القليل من أجزاء البيانات، لذلك ما نراه قد يكون مجرد بقايا التموج الإحصائي. وفرص أن الدليل لاتجاه مفضل شذوذ إحصائي، هو أمر تم تقديره بأقل من جزء[٤] من ١٠٠٠. لكن قد يكون الأكثر سهولة تصديق سوء الحظ غير المرجح هذا عن تصديق أن تنبؤات التضخم تنهار.

هذه القضايا لم يتم حلها حتى الآن. في الوقت الراهن، يكفي القول بأننا نرغب في البحث عن فيزياء غريبة على مقياس **R** وأن نجدها.

هل هناك أية ظواهر أخرى تصاحب هذا المقياس؟ يمكننا ضم **R** إلى ثوابت الطبيعة الأخرى لمعرفة ما يحدث عند المقاييس التي يتم تعريفها بالرقم الناتج. دعني أعط مثالاً. افترض **R** مقسومة على سرعة الضوء: **R/c**. يعطينا هذا زمنًا، والزمن الذي يعطيه لنا هو بالتقريب العمر الراهن لكوننا. العكس **c/R** يعطينا ترددًا – نغمة منخفضة جدًا، ذبذبة واحدة في مدى عمر الكون.

الأمر الأبسط التالي لتجربته هو c^2/R. يتضح أن هذا تسارع. إنه في الحقيقة التسارع الذي يزداد به معدل تمدد الكون – أي، التسارع الناتج عن الثابت الكوني. مع ذلك، مقارنة بالمقاييس العادية فإنه تسارع ضئيل جدًا: ١٠ ^-٨^ سنتيمتر في الثانية. تخيل حشرة تزحف على الأرضية. إنها تتمكن من قطع ربما ١٠ سنتيمترات في الثانية. لو ضاعفت الحشرة من سرعتها على مدى عمر كلب، لعلها تتسارع بنحو c2/R، وهو تسارع صغير بالفعل.

لكن افترض أن هناك ظاهرة كونية جديدة تفسر قيمة الثابت الكوني. فقط بحقيقة أن المقاييس تتشابه، لا بد أن تؤثر هذه الظاهرة أيضًا على أي نوع آخر من الحركة في تسارع بهذه الضآلة. لذلك عندما نستطيع في أي وقت رصد أي شيء يتحرك بمثل هذا التسارع الضئيل، قد نتوقع رؤية شيء ما جديد. الآن تبدأ اللعبة في الإثارة. نحن نعرف أشياء تتسارع بهذا البطء. أحد الأمثلة هو نجم نموذجي يدور في مجرة نموذجية. أي مجرة تدور حول مجرة أخرى تتسارع حتى إلى ما هو أبطأ من ذلك. ومن ثم، هل نرى شيئًا مختلفًا حول مدارات نجوم لها مثل هذا التسارع الضئيل، مقارنة بمدارات لنجوم ذات تسارعات أكبر؟ الإجابة هي نعم، نرى، وهذا أمر مثير. تلك هي مشكلة المادة المظلمة.

كما ناقشنا في الفصل ١، اكتشف علماء الفلك مشكلة المادة المظلمة بقياس تسارع النجوم في مدار حول مركز مجراتها. ظهرت المشكلة لأنه، بمعرفة التسارعات التي تم قياسها، يمكن لعلماء الفلك استنتاج توزيع مادة

المجرة. في أغلب المجرات، اتضح أن هذه النتيجة لا تتفق مع المادة المرصودة بشكل مباشر.

يمكنني الآن قول المزيد ولو قليلاً حول أين ظهر التعارض. (من أجل البساطة، سوف أقيد المناقشة بالمجرات الحلزونية، حيث تتحرك أغلب النجوم في مدارات دائرية في قرص). في كل مجرة حيث توجد المشكلة، فإنها تؤثر فقط على النجوم التي تتحرك خارج مدار معين. في هذا المدار، لا توجد مشكلة – التسارع هو ما يجب أن يكون عليه لو أنه ناتج عن مادة مرئية. لذلك يبدو أن هناك منطقة في داخل المجرة حيث تعمل قوانين نيوتن وليست هناك حاجة إلى مادة مظلمة. خارج هذه المنطقة، تصبح الأمور غير مرتبة.

السؤال المهم هو: أين المدار الخاص الذي يفصل بين المنطقتين؟ قد نفترض أنه يوجد على مسافة خاصة من مركز المجرة. تلك فرضية طبيعية، لكنها خاطئة. هل خط التقسيم عند كثافة معينة للنجوم أو ضوء النجم؟ من جديد الإجابة هي لا. ما يبدو أنه يحدد خط التقسيم، وهو أمر مدهش، هو معدل التسارع نفسه. كلما تحركنا مبتعدين عن مركز المجرة، تنخفض التسارعات، ويتضح أن هناك معدلا حرجا يميز تعطل قانون نيوتن للجاذبية. وما دام تسارع النجم يزيد من هذه القيمة الحرجة، يبدو أن قانون نيوتن يعمل ويكون التسارع الذي تم التنبؤ به هو ذلك الذي نراه. ليست هناك حاجة إلى افتراض أي مادة مظلمة في هذه الحالات. لكن عندما يكون التسارع المرصود أصغر من القيمة الحرجة، لا تعود تتفق مع تنبؤ قانون نيوتن.

ما هذا التسارع الخاص؟ لقد تم قياسه وهو ١،٢ x ١٠ ^-٨ سنتيمتر لكل ثانية لكل ثانية. وهذا يقترب من c^2/R، قيمة التسارع الناتج عن الثابت الكوني!

هذا التحول اللافت للنظر في قصة المادة المظلمة اكتشفه عالم فيزياء إسرائيلي اسمه مورديهاي ميلجروم **Mordehai Milgrom** في بداية الثمانينيات. ونشر نتائجه في ١٩٨٣، لكن تم تجاهلها إلى حد كبير(٥). مع ذلك، أصبحت البيانات أفضل، وأصبح من الواضح أن أرصاده كانت صحيحة. يكون لمقياس c^2/R ميزة عندما يتوقف عمل قانون نيوتن للمجرات. ويطلق علماء الفلك على ذلك الآن قانون ميلجروم .

أريد منك أن تفهم مدى غرابة هذا الرصد. المقياس **R** هو مقياس لمجمل الكون المرصود، وهو أكبر بشكل هائل من أي مجرة بمفردها. يوجد التسارع c^2/R على هذا المقياس الكوني، كما لاحظنا، وهو المعدل الذي يتسارع به تمدد الكون. ليس هناك سبب واضح لأن يلعب هذا المقياس أي دور على أي حال في ديناميكا المجرة المنفردة. التحقق الذي ينجزه أرغمتنا عليه البيانات. أتذكر ذهولي عندما علمت به لأول مرة. أصابتني الصدمة وازدادت طاقتي. سرت هنا وهناك لنحو ساعة في انبهار، وأنا أغمغم ببذاءات مشوشة. أخيرًا! تلميح ممكن من تجربة على أن هناك المزيد عن العالم أكثر مما نتصور نحن علماء النظرية!

كيف يمكن شرح ذلك؟ باستثناء تعاقب الأحداث صدفة، هناك ثلاثة احتمالات. قد تكون هناك مادة مظلمة، ويمكن أن يصف المقياس c^2/R فيزياء جسيمات المادة المظلمة. أو يمكن وصف هالات المادة المظلمة بالمقياس c^2/R، لأن هذا يرتبط بكثافة المادة المظلمة وقت انهيارها لتشكيل المجرات. في كلا الحالتين، تعتبر الطاقة المظلمة والمادة المظلمة ظاهرتين مختلفتين، لكنهما مترابطتان.

الاحتمال الآخر هو أنه ليس هناك مادة مظلمة وقانون نيوتن للجاذبية يتوقف عن العمل أينما تصبح التسارعات بصغر القيمة الخاصة للمقياس c^2/R. في هذه الحالة، نحتاج إلى قانون جديد يحل محل قانون نيوتن في هذه الظروف. في بحثه في ١٩٨٣، اقترح ميلجروم مثل هذه النظرية. وأسماها MOND، اختصارًا لــ "ديناميكا نيوتن المعدلة". تبعًا لقانون نيوتن للجاذبية، يتناقص تسارع أي جسم بسبب الكتلة بطريقة خاصة عندما يبتعد الراصد عن الكتلة – أي، بمربع المسافة. تقول نظرية ميلجروم أن قانون نيوتن صحيح، لكن فقط حتى تنقص القيمة السحرية ١،٢ x ١٠ $^{-٨}$ سنتيمتر/ثانية^{٢}. بعد هذه النقطة، بدلاً عن أن تتناقص مع مربع المسافة، فإنها تتناقص فقط مع المسافة. ويضاف إلى ذلك، بينما تكون القوة النيوتنية متناسبة بشكل طبيعي مع كتلة الجسم لتجعل التسارع مضروبا في ثابت ما (وهو الثابت الجذبوي لنيوتن)، تقول نظرية MOND إنه عندما يكون التسارع صغير جدًا، تكون القوة متناسبة مع الجذر التربيعي للكتلة مضروبة في ثابت نيوتن.

لو أن ميلجروم على حق، يكون سبب أن النجوم خارج المدار الخاص تتسارع أكثر مما يجب أن تكون عليه هو أنها تشعر بقوة جذبوية أكثر شدة مما تنبأ بها نيوتن! هنا فيزياء جديدة تمامًا – ليست عند ثابت بلانك، بل وليست حتى في مسارع، لكنها أمامنا مباشرة، في حركات النجوم التي نراها في السماء.

كنظرية ليس لنظرية **MOND** الكثير من المعنى بالنسبة لعلماء الفيزياء. هناك أسباب جيدة لأن تتضاءل القوى الجذبوية والكهربائية مع مربع المسافة. ويتضح أن هذا يتسق مع النسبية موحدة مع الطبيعة ذات الأبعاد الثلاثة للمكان. لا أريد أن أدخل في التفاصيل هنا، لكن النتيجة جذرية. تبدو نظرية ميلجروم غير متسقة مع مبادئ الفيزياء الأساسية، بما في ذلك تلك الخاصة بالنسبية الخاصة والعامة.

كانت هناك محاولات لتعديل النسبية العامة لإنشاء نظرية تحتوي على نظرية **MOND** أو شيء ما يقترب منها. مثل هذه النظرية تم ابتكارها بواسطة جاكوب بيكنشتاين، وأخرى بواسطة جون موفات **John Moffat**، الذي كان حينئذ في جامعة تورونتو، وأخرى أيضًا بواسطة فيليب مانهايم **Philip Mannheim**، في جامعة كونيكتيكت. هؤلاء أشخاص مبدعون إلى حد كبير (بيكنشتاين، كما تتذكره من الفصل ٦، اكتشف إنتروبيا الثقب الأسود، بينما ابتكر موفات الكثير من الأشياء المدهشة، بما في ذلك علم كون سرعة الضوء المتغيرة). تنجح كل النظريات الثلاث إلى حد ما، لكنها، في رأيي، اصطناعية إلى حد كبير. ولها مجالات إضافية متعددة وتتطلب ضبط

الكثير من الثوابت إلى قيم غير مرجحة لكي تتفق مع الأرصاد. وأنا أيضًا منزعج من قضايا عدم التوازن، رغم أن واضعي هذه النظريات يزعمون بأن مثل هذه المشاكل قد تم حلها. الأخبار الجيدة هي أن الناس يمكنهم دراسة هذه النظريات بالطريقة قديمة الطراز - مقارنة بتنبؤاتها بالكمية الكبيرة من البيانات الفلكية لدينا.

يجب القول بأنه خارج المجرات، لا تنجح نظرية **MOND** بشكل جيد جدًا. هناك الكثير من البيانات حول توزيع الكتلة وحركة المجرات على مقاييس أكبر من المقياس المجري. في هذا النظام، تنجح نظرية المادة المظلمة أكثر من نظرية **MOND** عند تفسير البيانات.

ورغم ذلك، تبدو نظرية **MOND** ناجحة تمامًا في المجرات[٦]. البيانات التي تم جمعها خلال العقد الماضي أوضحت أنه في أكثر من ثمانين حالة (بالحساب الأخير) لا تشمل نحو مائة تمت دراستها، تتنبأ نظرية **MOND** بدقة بكيفية حركة النجوم. في الواقع، تتنبأ **MOND** بكيفية حركة النجوم داخل المجرات بشكل أفضل من النماذج القائمة على المادة المظلمة. بالطبع تتحسن الثانية طوال الوقت، لذلك لن أزعم بأنني أستطيع التنبؤ بكيف سيتضح التلاؤم. لكن، حتى الآن، يبدو أننا نواجه موقفًا رهيبًا إلى حد مبهج. لدينا نظريتان مختلفتان جدًا، يمكن لواحدة منهما فقط أن تكون صحيحة. نظرية واحدة - النظرية القائمة على المادة المظلمة - لها معنى جيد، ومن السهل تصديقها، وهي ناجحة جدًا في التنبؤ بالحركات خارج المجرات لكنها ليست بهذا النجاح داخل المجرات. والنظرية الأخرى، **MOND**، ناجحة جدًا مع المجرات،

وتفشل خارج المجرات، وعلى أي حال تقوم على افتراضات تبدو متناقضة إلى أقصى حد مع العلم الراسخ جيدًا. يجب أن أعترف بأن أي شيء لم يجعلني أستيقظ ليلاً في العام الماضي أكثر من القلق حول هذه المشكلة.

قد يكون من السهل تجاهل نظرية **MOND** إن لم يكن لحقيقة أن قانون ميلجروم يقترح أن مقياس الثابت الكوني الغامض يمت بصلة بقدر ما هو الذي يحدد كيفية حركة النجوم في المجرات. فقط من البيانات، يبدو أن التسارع c^2/R يلعب دورًا مهمًا في كيفية حركة النجوم. سواء كان ذلك لوجود علاقة بين المادة المظلمة وإما الطاقة المظلمة أو مقياس التمدد الكوني، أو لشيء أكثر جذرية، نرى فيزياء جديدة يمكن بالفعل العثور عليها عند هذا التسارع.

كان لي محادثات حول **MOND** مع العديد من علماء النظريات الأكثر إبداعًا الذين عرفتهم. وكان الأمر يسير غالبًا كما يلي: لعل حديثنا كان يدور حول بعض مشاكل التفكير السائد الرصينة ويشير أحد منا إلى المجرات. قد ننظر إلى بعضنا البعض بومضة اهتمام وقد يقول أحدنا، "إذن أنت قلق تجاه **MOND** أيضًا"، كما لو أنه يعترف بخطيئة مكتومة. ثم قد نتقاسم أفكارنا المجنونة – لأن كل الأفكار حول **MOND** التي لا تكون خاطئة على الفور يتضح أنها مجنونة.

الميزة الوحيدة هي أن هذه حالة يكون فيها الكثير من البيانات، وتتحسن البيانات طوال الوقت. آجلاً أم عاجلاً سوف نعرف ما إذا كانت

المادة المظلمة تفسر حركات النجوم في المجرات، أو سيكون علينا قبول تعديل جذري لقوانين الفيزياء.

بالطبع، قد يكون الأمر صدفة فحسب أن تشترك المادة المظلمة والطاقة المظلمة في مقياس فيزيائي مشترك. وليس كل تعاقب للأحداث صدفة ذو معنى. لذلك يمكن أن نسأل ما إذا كان هناك ظواهر أخرى حيث يمكن قياس هذا التسارع الضئيل. لو أن الأمر كذلك، هل هناك مواقف تتعارض خلالها النظرية والتجربة؟

يتضح أن هناك مثل هذه الحالة الأخرى، وهي، أيضًا، غير مثبتة. أرسلت ناسا حتى الآن العديد من المركبات الفضائية خارج المجموعة الشمسية.. منها، اثنان – بيونير ١٠ وبيونير ١١ – تم تتبعهما لعقود. تم تصميم البيونير للسفر بين الكواكب الخارجية، وبعد ذلك عليها الاستمرار في الابتعاد عن الشمس، في اتجاهات مضادة في مستوى المجموعة الشمسية.

يستطيع علماء ناسا في مختبر الدفع النفاث JPL في باسادينا، في كاليفورنيا، تحديد سرعات مركبة الفضاء بيونير باستخدام إزاحة دبلر ومن ثم تتبع مسارها بدقة. يحاول المختبر توقع المسارات بالتنبؤ بالقوى على المركبتين الفضائيتين من الشمس، والكواكب، والمكونات الأخرى للمجموعة الشمسية. في كلا الحالتين، لا تتلاءم المسارات المرصودة مع هذه التنبؤات[٧]. تنتج التعارضات من تسارع إضافي يجذب المركبتين الفضائيتين نحو الشمس. قيمة هذا التسارع الغامض نحو ٨X ١٠ $^{-٨}$ سنتيمتر لكل ثانية

لكل ثانية – أكبر من قيمة التسارع الشاذ الذي تم قياسه في المجرات بمعامل تقريبي ٦. لكنه يظل قريبًا تمامًا، مع معرفة أنه ليس هناك ارتباط واضح بين الظاهرتين.

يجب أن أشير إلى أن البيانات في هذه الحالة لم يتم قبولها بعد بشكل كامل. بينما يوجد الشذوذ في كلا المركبتين بيونير، وهو أكثر إقناعًا بكثير منه لو أنه وُجد في مركبة واحدة فقط، تم إنشاؤهما وتتبعهما بواسطة مختبر الدفع النفاث JPL. ومع ذلك تم تحليل بيانات JPL بشكل مستقل بواسطة علماء باستخدام برنامج حركة القمر الاصطناعي المدمج عالي الدقة لإيرسباس كوربوريشن، وتتفق هذه النتائج مع نتائج JPL. لذلك بقيت البيانات حتى الآن. لكن علماء الفلك وعلماء الفيزياء لديهم معايير عالية للبرهان، خاصة عندما يُطلب منهم تصديق أن قانون نيوتن للجانبية ينهار فقط خارج مجموعتنا الشمسية.

حيث إن التعارض صغير، قد يكون من المحتمل تبريره بتأثير ما بالغ الصغر، مثل أن يكون جانب المركبة الفضائية الذي يواجه الشمس قد سخن قليلاً عن الجانب المقابل، أو بتسرب ضئيل للغاز. وضع فريق JPL في حسبانه كل هذه التأثيرات التي يمكنهم التفكير فيها وهم عاجزون حتى الآن عن تفسير التسارع الشاذ المرصود. وحديثًا كانت هناك اقتراحات بإرسال مسبار للأغراض الخاصة، مصمم ومنتج للتخلص من الكثير من مثل هذه التأثيرات المزيفة بقدر الإمكان. يمكن لمثل هذا المسبار أن يستغرق الكثير من السنوات لمغادرة المجموعة الشمسية، لكن حتى رغم ذلك، هذه بعثة

جديرة بالاهتمام. بقي قانون نيوتن للجاذبية لأكثر من ثلاثمائة سنة، فلو احتاج الأمر لبضع سنوات أخرى إما لإثبات صحته أو البرهنة على أنه خطأ، ليس هذا بالكثير.

ماذا لو ثبت أن شذوذ MOND أو بيونير صحيح؟ هل تتلاءم بياناتهما مع النظرية الموجودة؟

في النهاية، تتسق نظرية MOND مع كل أنواع نظرية الأوتار التي تمت دراستها حتى الآن. هل تتسق مع نوع مجهول حاليًا من نظرية الأوتار؟ بالطبع. مع معرفة مرونة نظرية الأوتار، ليست هناك طريقة لاستثناء ذلك، رغم أنه قد يكون إنجازا صعبا. ماذا عن النظريات الأخرى؟ حاول كثير من الأشخاص بجهد جعل MOND تنتج عن سيناريو عالم البران أو نوع ما من الجاذبية الكمية. هناك القليل من الأفكار، لكن لا شيء ينجح بشكل لافت للانتباه. لقد تأملت أنا وفوتيني ماركوبولو Fotini Markopoulou، زميلتي في معهد بيريمتر للفيزياء النظرية، في كيفية الحصول على MOND من الجاذبية الكمية، لكننا لم نستطع توضيح كيفية عمل فكرتنا بالتفصيل. MOND لغز يثير الغيظ، لكنه ليس اللغز الذي يمكن حله الآن، لذلك دعنا ننتقل إلى تلميحات أخرى لفيزياء جديدة تأتي من التجربة.

التجارب الأكثر إثارة هي تلك التي تحدث انقلابًا شاملاً في المعتقدات التي يتم التمسك بها. بعض المعتقدات منغرسة بشدة في تفكيرنا حتى إنها تنعكس في لغتنا. على سبيل المثال، نتحدث عن الثوابت الفيزيائية، لنشير إلى

تلك الأرقام التي لا تتغير أبدًا. وهذا يتضمن أغلب البارامترات الأساسية لقوانين الفيزياء، مثل سرعة الضوء أو شحنة الإلكترون. لكن هل هذه الثوابت ثابتة بالفعل؟ لماذا لا تتغير سرعة الضوء مع الزمن؟ وهل يمكن رصد مثل هذا التغير؟

في نظرية تعدد الأكوان التي تمت مناقشتها في الفصل ١١، تخيلنا أن البارامترات تتغير على نطاق أكوان مختلفة. لكن كيف يمكننا رصد مثل هذه التغيرات في كوننا؟ هل يمكن أن تتغير الثوابت، مثل سرعة الضوء، مع الزمن في كوننا؟ أشار بعض علماء الفيزياء إلى أن سرعة الضوء يتم قياسها في نظام ما للوحدات - أي، عدد من الكيلومترات في الثانية. كيف يمكنك، كما يقولون، التمييز بين سرعة ضوء تتغير مع الزمن في موقف تتغير فيه الوحدات نفسها مع الزمن؟

للإجابة عن هذا السؤال، علينا أن نعرف كيف يتم تعريف وحدات المسافة والزمن. تقوم هذه الوحدات على معيار فيزيائي ما، الذي يتم تعريفه بدوره بسلوك نظام فيزيائي ما. أولاً، المعايير التي تنسب إلى الأرض: المتر واحد من مليون المسافة من القطب الشمالي إلى خط الاستواء. والآن تقوم المعايير على خواص الذرة - على سبيل المثال، الثانية يتم تعريفها قياسًا بذبذبات ذرة سيزيوم.

لو وضعت في حسبانك كيفية تعريف الوحدات، عندئذ يتم تعريف الثوابت الفيزيائية كنسب. مثلاً، سرعة الضوء يمكن تعريفها لو عرفت النسبة

بين الزمن الذي يستغرقه الضوء لعبور ذرة وفترة الضوء التي تبثها ذرة. تكون هذه الأنواع من النسب هي نفسها في كل نظم الوحدات. تشير الوحدات بالكامل إلى خواص فيزيائية للذرات لا غير، وليس هناك قرار اختيار للوحدات متضمن في قياسها. وحيث إنه يتم تعريف النسب قياسًا بالخواص الفيزيائية فقط، يكون هناك معنى للتساؤل حول ما إذا كانت هذه النسبة تتغير مع الزمن أم لا. لو أنها تتغير، عندئذ يكون هناك أيضًا تغير مع الزمن في العلاقة بين خاصية فيزيائية واحدة لذرة وأخرى.

التغيرات في هذه النسب يمكن قياسها بالتغيرات في ترددات الضوء المنبعث عن الذرات. تبث الذرة الضوء في طيف يتكون من الكثير من الترددات المتميزة، لذلك هناك الكثير من النسب التي يتم تعريفها بأزواج من هذه الترددات. قد يسأل المرء عن ما إذا كانت هذه النسبة مختلفة في الضوء القادم من النجوم والمجرات البعيدة - أي، في الضوء الذي يعود عمره إلى مليارات السنوات.

فشلت مثل هذه التجارب في رصد تغيرات في ثوابت الطبيعة في مجرتنا أو بين المجرات القريبة. في مقاييس زمن لملايين السنوات، من ثم، لم تتغير الثوابت في أية طريقة يمكن رصدها. لكن تجربة حالية بواسطة مجموعة في أستراليا توصلت إلى تغيرات في النسب بالنظر إلى ضوء من الكوازار - الضوء الذي تم بثه منذ ١٠ مليارات سنة تقريبًا. لم يدرس العلماء الأستراليون الطيف الذري للكوازار نفسه، وما فعلوه أكثر ذكاءً من ذلك. في طريقة من الكوازار إلينا، ينتقل الضوء خلال الكثير من المجرات.

كل مرة يمر خلالها على مجرة، يتم امتصاص بعض الضوء بواسطة الذرات في هذه المجرة. تمتص الذرات الضوء بتردد خاص، لكن بسبب ظاهرة دوبلر، تتم إزاحة التردد الذي يُمتص عنده الضوء نحو الطرف الأحمر من الطيف بكمية تتناسب مع بعد المجرة عنا. تكون النتيجة أن طيف الضوء من الكوازار يتزين بخطوط مشجرة، كل منها يناظر ضوء تم امتصاصه بواسطة مجرة على بعد معين منا. بدراسة نسب ترددات هذه الخطوط، يمكننا البحث عن تغيرات في الثوابت الأساسية مع الزمن الذي استغرقه الضوء في انتقاله من الكوازار. ولأن أي تغير يجب أن يظهر باعتباره نسبة تردد وهناك الكثير من الثوابت الأساسية، استقر علماء الفيزياء على أكثر النسب بساطة لدراستها – ثابت البنية الدقيقة، وهو الذي يتكون من ثوابت تحدد خواص الذرة. ويسمى ألفا، وهو يساوي نسبة شحنة الإلكترون مربعة، مقسوما على سرعة الضوء، مضروبا في ثابت بلانك.

درس الأستراليون قياسات الضوء من عينة من ثمانين كوازارات، باستخدام طيف دقيق جدًا مأخوذ بتلسكوب كيك ، في هاواي. استنتجوا من بيانات منذ نحو ١٠ مليارات سنة، أن ألفا كان أصغر بنحو جزء[٨] من ١٠٠٠٠.

هذا تغير صغير، لكن لو صمد، سيكون اكتشافًا في غاية الأهمية، الأكثر أهمية منذ عقود. قد تكون تلك هي المرة الأولى التي نعرف فيها أن ثابتا أساسيا للطبيعة يتغير مع الزمن.

الكثير من علماء الفلك الذين أعرفهم يتسمون بالعقل الراجح. بكل الحسابات، تم أخذ البيانات وتحليلها بعناية قصوى. لم يجد أحد خطأ واضحا في طريقة أو نتائج الفريق الأسترالي، لكن التجارب نفسها بالغة الدقة، أنواع الدقة المتضمنة هي في أقصى الممكن، ولا يمكننا استثناء احتمال أن بعض الأخطاء تسللت في التحليل. حتى كتابة هذا الكتاب، كان الموقف غير مرتب، كما هو نموذجي بالنسبة لتقنية تجريبية جديدة. تجرب مجموعات أخرى نفس القياسات، والنتائج مثيرة للجدل(٩).

الكثير من علماء النظريات يشكون في مؤشرات التغير في ثابت البنية الدقيقة. هم قلقون من أن مثل هذا التغير قد يكون غير طبيعي للغاية، وبذلك يقدم إلى نظرية الإلكترونات، والنوى، والذرات مقياس زمن يبتعد بمقدار كبير عن مقياس الفيزياء الذرية. بالطبع، يمكنهم قول هذا عن مقياس الثابت الكوني. بالفعل، لا يقترب المقياس الذي يتغير عنده ثابت البنية الدقيقة من أي شيء آخر تم قياسه، باستثناء الثابت الكوني نفسه. لذلك ربما تكون تلك ظاهرة أخرى غامضة لها علاقة بالمقياس **R**.

أيضًا الظهور الآخر لمقياس **R** قد يكون كتل النيوترينو الغامضة. يمكنك تحويل مقياس الطول **R** إلى مقياس كتلة، باستخدام الثوابت الأساسية للفيزياء فقط، والنتيجة من نفس حجم الفروق بين كتل الأنواع المختلفة من النيوترينو. لا أحد يعرف لماذا يجب أن يكون لجسيمات النيوترينو، الجسيمات الموجودة الأكثر خفة، كتل ترتبط ب **R**، لكن الأمر كذلك – تلميح آخر يثير الغيظ.

قد يكون هناك تلميح تجريبي نهائي يتضمن المقياس R. بجمعه مع الثابت الجذبوي لنيوتن، يمكننا استنتاج أنه قد تكون هناك تأثيرات تغير القوة الجذبوية على مقياس المليمترات. حاليًا تحاول مجموعة في جامعة واشنطن، يقودها إريك أدلبرجر **Eric Adelberger**، إجراء قياسات فائقة الدقة لقوة الجاذبية بين شيئين يفصل بينهما مليمترات. مع يونيو ٢٠٠٦، كل ما استطاعوا قوله علنًا هو أنهم لا يرون دليلاً على أن قوانين نيوتن خاطئة مع الهبوط إلى مقاييس ٦/١٠٠ من المليمتر.

إذا لم يكن هناك شيء آخر، فعلى تجاربنا بالتأكيد أن تختبر المبادئ الأساسية للفيزياء. وهناك ميل كبير للظن بأن هذه المبادئ، بمجرد اكتشافها، تكون أبدية، مع ذلك يخبرنا التاريخ بقصة مختلفة. تقريبًا كل مبدأ تم تنحيته جانبًا بمجرد الإعلان عنه. ولا يهم مدى فائدتها ولا مدى جودة التقريب الذي تقدمه للظواهر، تفشل كل المبادئ إن آجلاً أو عاجلاً، بينما تسبر التجربة العالم الطبيعي بمزيد من الدقة. أعلن أفلاطون أن كل شيء في الكرة السماوية يتحرك على دوائر. كانت هناك أسباب جيدة لذلك: كل شيء فوق كرة القمر كان يُعتقد بأنه أبدي وكامل، وليست هناك حركة أكثر كمالاً من الحركة المتماثلة لدائرة. تبنى بطليموس هذا المبدأ وعززه بإنشاء أفلاك التدوير – الدوائر التي تتحرك على دوائر.

مدارات الكواكب تكون بالفعل دائرية تقريبًا إلى حد كبير، وحركة الكواكب في مداراتها متماثلة تقريبًا. بطريقة ما من المناسب أن المدارات الكوكبية الأقل دائرية هي تلك الخاصة بالمريخ الجامح – ومداره قريب جدًا

من الدائري حتى إن الانحرافات تكون عند حد يمكن استنتاجه من بأفضل الأرصاد الممكنة بالعين المجردة. في ١٦٠٩، بعد تسع سنوات من العمل المجهد على مدار المريخ، أدرك جوهانس كبلر أنه يجب أن يكون قطعًا ناقصًا. في ذلك العام، أدار جاليليو تلسكوبًا إلى السماء وبدأ عصرًا جديدًا لعلم الفلك، وفيه أصبح من الواضح أخيرًا أن كبلر كان على حق. كانت الدوائر هي الأشكال الأكثر كمالاً، لكن المدارات الكوكبية ليست دائرية.

عندما أعلن القدماء أن الدائرة هي أكثر الأشكال كمالاً، كانوا يقصدون أنها الأكثر تماثلاً: كل نقطة على المدار هي نفسها مثل أي نقطة أخرى. المبادئ التي يصعب التخلص منها هي تلك التي تستجيب لحاجتنا للتماثل وترفع التماثل المرصود إلى أمر ضروري. تقوم الفيزياء الحديثة على مجموعة من التماثلات، التي يُعتقد أنها تقدس المبادئ الأساسية أكثر من غيرها. وليس أقل من القدماء، يعتقد الكثير من علماء النظريات المعاصرين بشكل غريزي بأن النظرية الأساسية يجب أن تكون القانون الممكن الأكثر تماثلاً. هل علينا أن نثق بهذه الغريزة، أم أن علينا أن ننصت لدرس التاريخ، الذي يخبرنا أن الطبيعة (كما في مثال المدارات الكوكبية) تصبح أقل تماثلاً أكثر من كونها أكثر تماثلاً كلما نظرنا إليها أقرب؟

التماثلات المنغرسة بشكل أكثر عمقًا في النظرية المعاصرة هي تلك التي تأتي من نظريتي النسبية الخاصة والعامة لأينشتاين. والأكثر أساسية من بينها هي نسبية أطر القصور الذاتي. إنها بالفعل مبدأ جاليليو، وكانت فكرة مؤسسة للفيزياء منذ القرن السابع عشر. وهي تقول إننا لا يمكننا تمييز حركة

ذات سرعة ثابتة واتجاه ثابت .عن السكون. إنه هذا المبدأ المسئول عن حقيقة أننا لا نشعر بحركة الأرض، أو حركتنا في طائرة تتحرك بسرعة ثابتة في السماء. مادام ليس هناك تسارع، لا يمكنك أن تشعر بحركتك الخاصة. الطريقة الأخرى للتعبير عن ذلك هي أنه لا يوجد راصد مفضل ولا إطار إسناد مفضل: مادام كان التسارع غائبًا، يعتبر أي راصد جيد مثل غيره.

ما فعله أينشتاين في ١٩٠٥ هو أنه طبق هذا المبدأ على الضوء. والنتيجة أن سرعة الضوء يجب اعتبارها ثابتة، مستقلة عن حركة مصدر الضوء أو الراصد. لا يهم كيفية حركتنا بالنسبة لبعضنا البعض، سوف ننسب أنا وأنت نفس السرعة بالضبط إلى أي فوتون. هذا هو أساس نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين.

مع وجود النظرية النسبية الخاصة، يمكننا تقديم الكثير من التنبؤات حول فيزياء الجسيمات الأولية. هنا واحد من الأشعة الكونية يتعلق بالموضوع. تلك مجموعة من الجسيمات، يُعتقد بأنها بروتونات من الناحية الأساسية، تنتقل خلال الكون. تصل على قمة الغلاف الجوي للأرض، حيث تتصادم مع ذرات في الهواء، وتنتج زخات من أنواع أخرى من الجسيمات، التي يمكن رصدها على الأرض. لا أحد يعرف مصدر هذه الأشعة الكونية، لكن كلما ازدادت طاقتها، كانت أكثر ندرة. تم رصدها عند طاقات أعلى ١٠٠ مليار مرة من كتلة البروتون. للوصول إلى هذه الطاقة، يجب أن تتحرك البروتونات بما يقترب جدًا من سرعة الضوء – وهو حد للسرعة لا يجب لأي جسيم أن يتجاوزه، تبعًا للنسبية الخاصة.

يُعتقد أن الأشعة الكونية تأتي من مجرات بعيدة، ولو كان الأمر كذلك، يجب أن ترحل ملايين وربما مليارات من السنوات الضوئية عبر الكون قبل أن تصل إلى هنا. إذا عدنا إلى ١٩٦٦، قدم عالما فيزياء سوفييتيين، هما جورجي زاتسبين **Georgiy Zatsepin** وفاديم كازمين **Vadim Kuzmin**، و(بشكل مستقل) عالم الفيزياء من جامعة كورنيل كينيث جريسين **Kenneth Greisen**، تنبؤًا مبهرًا حول الأشعة الكونية، فقط باستخدام نظرية النسبية الخاصة(١٠). ومن المفيد وصف تنبؤهم، المعروف عادة بتنبؤ **GZK**، لأنه تم اختباره الآن فقط. إنه الاختبار الأكثر تطرفًا في النسبية الخاصة الذي تم في أي وقت. إنه، في الحقيقة، أول اختبار للنسبية الخاصة يقترب من مقياس بلانك، وهو المقياس الذي يجب أن نرى عنده تأثيرات النظرية الكمية للجاذبية.

استغل علماء ماهرون كل الأدوات الموجودة تحت تصرفهم. ما فهمه جريسين، وزاتسبين، وكازمين هو أن لدينا مدخلا إلى مختبر أكثر ضخامة بكثير من أي مختبر يمكننا إنشاؤه على الأرض – الكون نفسه. يمكننا رصد الأشعة الكونية التي تصل على الأرض بعد سفر مليارات السنوات عبر جزء جدير بالاعتبار من الكون. أثناء انتقالها، لعل تأثيرات بالغة الضآلة – تأثيرات قد تكون بالغة الصغر بحيث لا تصبح واضحة في التجارب الأرضية – قد تكون تضخمت إلى الدرجة التي يمكننا رؤيتها عندها. لو أننا استخدمنا الكون كأداة تجريبية، يمكننا أن نرى ما هو أعمق بكثير في بنية الطبيعة أكثر مما تخيله الناس في أي وقت.

النقطة المهمة هي أن الفضاء الذي تنتقل خلاله الأشعة الكونية ليس فارغًا، وهو مملوء بإشعاع خلفية المايكروويف الكونية. أدرك جريسين والعالمان السوفييتيان أن البروتونات بطاقة أعلى من قيمة خاصة قد تتفاعل مع الفوتونات في إشعاع الخلفية وأن هذا التفاعل قد يولد جسيمات (الأكثر ترجيحًا البيونات، أو بي-ميزونات). قد يستهلك توليد الجسيمات هذا طاقة، ولأن الطاقة محفوظة، قد تتباطأ البروتونات ذات الطاقة العالية. لذلك، الفضاء لا تنفذ منه في الحقيقة أي بروتونات لكي تحمل طاقة أكثر مما يحتاجه إنتاج بيونات.

يعمل الفضاء من ثم باعتباره نوعا من المصفاة. يمكن للبروتونات التي تتكون منها الأشعة الكونية أن ترحل فقط لو كان لها طاقة أقل من الطاقة المطلوبة لإنتاج بيونات. لو كان لديها المزيد، فإنها تنتج بيونات وتتباطأ وتستمر في ذلك حتى تتباطأ إلى النقطة التي لا يمكنها عندها أن تنتج بيونات بعد ذلك. الأمر كما لو أن الكون قد فرض حدًا للسرعة على البروتونات. تنبأ جريسين، وزاتسبن، وكازمين بأنه لا يوجد بروتونات يمكنها الوصول إلى الأرض بأكثر من الطاقة الضرورية لإنتاج بيونات بهذه الطريقة. والطاقة التي تم التنبؤ بأن إنتاج البيونات يتم عندها هي نحو جزء من مليار من طاقة بلانك ($١٠^{١٩}$ بليون إلكترون فولت) ويطلق عليها حد نهاية **GZK**.

تلك طاقة هائلة، تقترب من طاقة بلانك أكثر من أي شيء آخر نعرفه. وهي أكثر ١٠ ملايين مرة من الطاقة التي سيتم إنتاجها في أكثر مسرعات الجسيمات تعقدًا التي يخطط لها حاليًا. يقدم تنبؤ **GZK** اختبارًا صارمًا

لنظرية النسبية الخاصة لأينشتاين. إنه يتحقق من النظرية عند طاقة أعلى بكثير، ومن سرعة أكثر اقترابًا من سرعة الضوء، أكثر مما فعلته أية تجربة، أو حتى يمكنها أن تفعله، على الأرض. في ١٩٦٦، عندما تم إنجاز تنبؤ GZK، لم تكن قد تمت رؤية سوى الأشعة الكونية بطاقات أقل بكثير من حد النهاية المتنبأ به، لكن في الوقت الحالي تم إنشاء القليل من التجهيزات يمكنها رصد جسيمات الأشعة الكونية عند حد النهاية المتنبأ به أو حتى أعلى منه. مثل هذه التجارب، يطلق عليها AGASA (اختصارًا لوصف زخة الهواء العملاقة أكينو)، تم إجراؤها في اليابان، وأُعلن أنها شهدت عشرة أحداث متطرفة مثل هذه على الأقل. والطاقة المتضمنة في هذه الأحداث أعلى من ٣x ١٠^{٢٠} إلكترون فولت – تقريبًا الطاقة التي يمكن لرامي كرة أن يعطيها لكرة البيسبول في أقصى سرعتها، لكن بروتونًا واحدًا هو الذي يحملها.

قد تكون هذه الأحداث إشارة إلى أن النسبية الخاصة تتوقف عند الطاقات المتطرفة. اقترح سيدني كولمان **Sidney Coleman** وشيلدون جلاشو في أواخر التسعينيات أن تعطل النسبية الخاصة قد يؤدي إلى رفع الطاقة المطلوبة لإنتاج بيونات، وبذلك يرفع من طاقة حد نهاية GZK ويسمح للبروتونات بمزيد من الطاقة العالية لتصل إلى كشافاتنا على الأرض[١١].

ليس هذا هو التفسير الممكن الوحيد لرصد بروتونات الأشعة الكونية عالية الطاقة هذه. من المحتمل أنها تولدت بالقرب من الأرض بما يكفي بحيث لم يكن لديها الوقت لتتباطأ بالتفاعل مع خلفية المايكروويف الكونية. يمكن اختبار ذلك بمعرفة ما إذا كانت البروتونات المعنية وصلت من أي مكان مفضل في السماء. ولا يوجد حتى الآن مثل هذا الدليل، لكنه يبقى احتمالاً.

من المحتمل أيضًا أن هذه الجسيمات عالية الطاقة بشكل متطرف ليست بروتونات على أي حال. قد تكون نوعًا مجهولاً حتى الآن لجسيم متزن له كتلة أعلى بكثير من كتلة البروتونات. لو أن الأمر كذلك، قد يكون هذا، أيضًا، اكتشافًا أعظم.

من المحتمل بالطبع دائمًا أن تكون التجارب خاطئة. قال فريق **AGASA** إن قياساتهم للطاقة صحيحة حتى عدم يقين نحو ٢٥ في المائة، وهي نسبة خطأ كبيرة. مع ذلك، فإن تقديرهم لدرجة دقة تجربتهم قد يكون خطأ.

لحسن الحظ، يجري الآن تطوير تجربة ستحل التضارب. تلك هي كشاف أوجير للأشعة الكونية، وهو يعمل الآن في المناطق المعشوشبة في غرب الأرجنتين. لو أن كشافات أوجير أثبتت الرصد الياباني ولو أمكن التخفيض من قيمة التفسيرات الممكنة الأخرى، قد يكون هذا هو الاكتشاف الأكثر أهمية في المائة سنة الماضية – أول تحطيم للنظريات الأساسية التي تتشكل منها الثورة العلمية للقرن العشرين.

ماذا نحتاج لرصد جسيمات الأشعة الكونية بمثل هذه الطاقة بالغة الارتفاع؟ عندما يضرب جسيم بهذه الطاقة قمة الغلاف الجوي، فإنه ينتج زخة من جسيمات أخرى تمطر على منطقة لعدة كيلومترات مربعة. تتكون تجربة أوجير من مئات الكشافات موضوعة على ٣٠٠٠ كيلومتر مربع من المناطق المعشوشبة في الأرجنتين. وفي الموقع عدة حساسات ضوء عالية الوضوح أيضًا تمسح السماء لرصد الضوء الناتج عن زخة الجسيمات.

بالجمع بين الإشارات الناتجة عن كل هذه الكشافات، يمكن لباحثي أوجير تحديد طاقة الجسيم الأصلي الذي اصطدم بالغلاف الجوي، وأيضًا الاتجاه الذي أتي منه.

حتى كتابة هذا الكتاب، يطلق مرصد أوجير فحسب أول بياناته. الأخبار الجيدة هي أن التجربة تجري بشكل جيد، لكن حتى الآن لا توجد بيانات كافية لتقرير ما إذا كان حد النهاية المتنبأ به على أساس النسبية الخاصة موجود أم لا. ورغم ذلك، من المعقول الأمل في أنه بعد العمل بضع سنوات، سيكون هناك ما يكفي من البيانات لحل هذه القضية.

حتى لو أعلن فريق أوجير أن النسبية الخاصة تظل قابلة للتطبيق، ستكون هذه النتيجة وحدها الفيزياء الأساسية الأكثر أهمية في السنوات الخمس والعشرين على الأقل – أي، منذ فشل العثور على تحلل البروتون (انظر الفصل ٤). الفترة الزمنية المظلمة الطويلة التي تطورت خلالها النظرية بدون الاسترشاد بالتجربة ستنتهي في النهاية. لكن لو أن أوجير اكتشف أن النسبية الخاصة ليست صحيحة بشكل كامل، سوف يقود ذلك إلى دهر جديد في الفيزياء الأساسية. من المفيد قطع بعض الوقت لاستكشاف تضمينات مثل هذه النتائج الثورية وإلى أين تؤدي.

١٤

الاعتماد على أينشتاين

افترض أن مشروع أوجير أو أية تجربة أخرى أوضح أن النسبية الخاصة لأينشتاين تنهار. تلك ستكون أنباء سيئة لنظرية الأوتار: قد يعني هذا أن الاكتشاف التجريبي العظيم الأول للقرن الحادى والعشرين كان غير متوقع بواسطة "نظرية كل شيء" الأكثر انتشارًا. تفترض نظرية الأوتار أن النسبية الخاصة صحيحة، تمامًا مثل ما كتبها أينشتاين منذ مائة عام. بالفعل، كان إنجاز أساسي لنظرية الأوتار أن تجعل نظرية الأوتار متسقة مع كل من النظرية الكمية والنسبية الخاصة. لذلك تتنبأ نظرية الأوتار بأنه مهما كان بعد مصادر البروتونات مختلفة الترددات عن بعضها البعض، فإنها تتنقل بنفس السرعة. كما رأينا، لا تقدم نظرية الأوتار الكثير من التنبؤات، لكن ها هو واحد، بالفعل، وهو التنبؤ الوحيد لنظرية الأوتار الذي يمكن اختباره بالتقنية الراهنة.

ماذا يعني بالنسبة لتنبؤات النسبية الخاصة أن يتم دحضها؟ هناك احتمالان. الأول هو أن النسبية الخاصة خاطئة، لكن الاحتمال الثاني يؤدي إلى تعميقها. على هذا التمييز تعتمد حكاية ربما تكون الفكرة الجديدة الأكثر إثارة للدهشة التي ظهرت في الفيزياء الأساسية في العقد الماضي.

هناك تجارب متعددة قد تكشف انهيار أو تعديل النسبية الخاصة. قد تفعل ذلك تجربة أوجير، لكن يمكن أن تفعل ذلك أرصادنا لانفجارات أشعة جاما. تلك انفجارات هائلة يمكنها في بضع ثوان إنتاج ضوء بنفس الكمية المنبعثة من مجرة كاملة. كما يتضمن الاسم، فإن أغلب هذا الضوء يتم إشعاعه على هيئة أشعة جاما، وهي شكل عالي الطاقة من الفوتونات. وتصل الإشارات من هذه الانفجارات بمتوسط نحو مرة في اليوم. تم رصدها أولاً في أواخر الستينيات، بأقمار اصطناعية مصممة للبحث عن اختبارات محظورة للأسلحة النووية. والآن ترصدها أقمار اصطناعية علمية، هدفها رصدها.

لا نعرف بالضبط ماهية انفجارات مصادر أشعة جاما، رغم وجود نظريات مقبولة. لعلها تأتي من تصادم نجمي نيوترينو أو نجم نيوترينو وثقب أسود. لعل أيا من الزوجين كان يدور حول الآخر منذ مليارات السنين، لكن مثل هذه المنظومات غير مستقرة. بينما تشع طاقة في موجات جذبوية، فإنها تدور بشكل حلزوني نحو بعضها ببطء شديد، حتى تتصادم في النهاية في أشد الأحداث المعروفة عنفًا وأعلاها طاقة.

تخبرنا النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين أن كل الضوء ينتقل بنفس السرعة، أيًا كان تردده. تقدم انفجارات أشعة جاما مختبرًا لاختبار هذا الزعم، لأنها تعطي انفجارًا قصيرًا جدًا من الفوتونات على نطاق واسع من الطاقات. والأكثر أهمية، أنها قد تستغرق مليارات السنين لتصل إلينا، وفي هذا يوجد قلب التجربة.

افترض أن أينشتاين كان خاطئًا، وأن الفوتونات ذات الطاقات المختلفة تنتقل بسرعات مختلفة قليلاً. لو أن فوتونين تم إنتاجهما في نفس الانفجار البعيد كان عليهما الوصول إلى الأرض عند وقتين مختلفين، سيشير هذا بالتأكيد إلى انهيار في نظرية النسبية الخاصة.

ما الذي يتضمنه مثل هذا الاكتشاف بالغ الأهمية؟ قد يعتمد هذا في البداية على المقياس الفيزيائي الذي حدث عنده الانهيار. أحد المواقع التي نتوقع أن تتداعى عنده النسبية الخاصة هو طول بلانك. تذكر من الفصل السابق أن مقياس بلانك هو نحو ١٠ $^{-٢٠}$ مرة حجم البروتون. وتخبرنا النظرية الكمية أن هذا المقياس يمثل عتبة تحتها تتحلل الصورة التقليدية للزمكان. والنظرية النسبية لأينشتاين هي جزء من هذه الصورة التقليدية، لذلك قد نتوقع تحطمها عند هذه النقطة بالضبط.

هل يمكن لأية تجربة أن ترى تأثير تحطم بنية المكان والزمان عند مقياس بلانك؟ مع توافر الإلكترونيات الحديثة، يمكن رصد أية اختلافات بالغة الصغر في أوقات وصول الفوتونات، لكن هل الإلكترونيات الحديثة جيدة بما يكفي لقياس حتى التأثيرات الأكثر ضآلة للجاذبية الكمية؟ لعدة عقود كنا نقوم نحن علماء النظريات بتعليم أن مقياس بلانك بالغة الصغر بحيث لا يمكن لأية تجربة حالية معقولة أن ترصده. تمامًا مثل أن أغلب بروفيسورات الفيزياء منذ مائة عام كانوا متمسكين بأن الذرات كانت بالغة الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها، قدمنا هذه الأكذوبة في ما لا يحصى من الأبحاث والمحاضرات. وهي أكذوبة.

من اللافت للأنظار، أن الأمر استغرق حتى وسط التسعينيات لكي ندرك أنه يمكننا بالفعل سبر مقياس بلانك. كما يحدث أحيانًا، تكتشف قلة من الأشخاص ذلك لكن تم إسكاتهم بالصراخ بالفعل عندما حاولوا نشر أفكارهم. أحدهم كان عالم الفيزياء الإسباني لويس جونزاليز-ميستريس **Luis Gonzalez-Mestres**، من المركز القومي للأبحاث العلمية، في باريس. قد يتم إنجاز اكتشاف مثل هذا عدة مرات بشكل مستقل حتى يضع شخص ما الفكرة تحت أنظار مجموعة من الاختصاصيين بطريقة تجعلها متماسكة. في هذه الحالة، كان من فعل ذلك هو جيوفاني أميلينو-كاميليا **Giovanni Amelino-Camelia**، من جامعة روما. والآن وهو في بداية الأربعينيات، كان أميلينو-كاميليا مدفوعا، وموجها، ومتقد العاطفة تجاه الفيزياء، مع كل الفتنة والبريق اللذين يصاحبان الإيطالي الجنوبي. ومجتمع الجاذبية الكمية محظوظ بضمه عضوًا إليه.

عندما كان أميلينو-كاميليا منخرطا في الدراسة الأكاديمية في أكسفورد، وضع لنفسه مهمة البحث عن طريقة لرصد الفيزياء عند مقياس بلانك. بدا ذلك طموحًا وجنونيًا تمامًا في ذلك الوقت، لكنه تحدى نفسه بإثبات أن المعارف الشائعة خاطئة ووصل بطريقة ما إلى إنجاز ذلك. ألهمته اختبارات تحلل البروتون. تم التنبؤ بأن تحلل البروتون (انظر الفصل ٤) قد يكون حدثًا نادرًا إلى أقصى حد، لكن لو استطعت جعل بروتونين يقتربان معًا بما يكفي، عليك توقع رؤية ذلك يحدث. قد يعمل عدد هائل من البروتونات كأداة تضخيم، فيجعل شيئًا بالغ الضآلة والندرة مرئيًا. السؤال

الذي طرحه أميلينو-كاميليا على نفسه هو ما إذا كان أي من مثل آلة التضخيم هذه تتيح له القدرة على رصد ظواهر عند مقياس بلانك.

لقد ذكرنا بالفعل مثالين للتضخيم المفيد: الأشعة الكونية وفوتونات من انفجارات أشعة جاما. في كلا الحالتين، استخدمنا الكون نفسه باعتباره أداة تضخيم. حجمه نفسه يضخم من احتمال وقوع أحداث بالغة الندرة، والكمية الهائلة من الزمن الذي يستغرقه الضوء للانتقال عبره يُمكن أن يضخم الأحداث بالغة الصغر. إن هذا النوع من التجارب يمكنه نظريًا أن يبرز انهيارًا للنسبية الخاصة لهو أمر تمت الإشارة إليه من قبل. ما اكتشفه أميلينو-كاميليا هو أنه يمكننا بالفعل ابتكار تجارب لسبر مقياس بلانك، ومن ثم الجاذبية الكمية.

التغير النموذجي لسرعة فوتون بسبب الجاذبية الكمية قد يكون بالغ الصغر إلى حد يصعب تصديقه، لكن التأثير يتم تضخيمه بزمن الرحلة من انفجار أشعة جاما، والذي قد يصل إلى مليارات السنوات. أدرك علماء الفيزياء منذ بضع سنوات، باستخدام تقديرات تقريبية لحجم تأثيرات الجاذبية الكمية، أن الزمن بين وصول فوتونات بطاقات مختلفة كانت تنتقل خلال هذه المسافة الطويلة قد يكون نحو ١/١٠٠٠ ثانية. هذا مقدار ضئيل من الزمن، لكنه بالفعل داخل نطاق يمكن قياسه بالإلكترونيات الحديثة. بالفعل، لدى أحدث كشافات أشعة جاما، ويسمى **GLAST** (اختصارًا لتلسكوب الفضاء الضخم لأشعة جامًا)، هذا النوع من الحساسية. ومن المقرر زمنيًا إطلاقه في صيف ٢٠٠٧ ويتم انتظار نتائجه بحماس.

حيث إن الحاجز تم تحطيمه بواسطة أميلينو-كاميليا ومعاونوه، اكتشفنا أن هناك طرقا كثيرة لسبر مقياس بلانك بتجارب حقيقية. أصبح سؤال أميلينو-كاميليا المجنون مجال علم محترما.

لذلك افترض نتيجة تجريبية جديدة تتناقض مع النسبية الخاصة عند مقياس بلانك. ماذا يخبرنا ذلك عن طبيعة المكان والزمان؟

ذكرت في بداية هذا الفصل أنه كان هناك احتمالان. ولقد ناقشنا واحدا منهما بالفعل، وهو أن مبدأ نسبية الحركة خاطئ - أي إنه يمكننا بالفعل تمييز حركة مطلقة من سكون مطلق. قد يعكس هذا مبدأ كان عنصرًا مركزيًا في الفيزياء منذ جاليليو. وأنا شخصيًا أجد هذا الاحتمال كريهًا، لكن كعالم يجب أن أعترف بأنه احتمال حقيقي. بالفعل، لو أن نتائج **AGASA**، تجربة الإشعاع الكوني اليابانية، تدعمت، لتمت بالفعل رؤية انهيار في النسبية الخاصة.

لكن هل هذا هو الاحتمال الوحيد؟ أغلب علماء الفيزياء ربما يقولون إنه لو انتقلت فوتونات بطاقات مختلفة بسرعات مختلفة، عندئذ تكون النسبية الخاصة خاطئة. كنت لأقول ذلك بالتأكيد منذ عقد مضى. لكن كنت سأكون على خطأ.

تقوم نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين على مسلمتين: واحدة هي نسبية الحركة، والثانية ثبات وعمومية سرعة الضوء. هل من الممكن أن تكون المسلمة الأولى صحيحة والأخرى خاطئة؟ لو أن هذا غير ممكن، لم يكن على أينشتاين أن يقدم مسلمتين. لكنني لا أظن أن الكثير من الأشخاص قد

أدركوا حتى حديثًا أنه لا يمكن أن يكون لديك نظرية متسقة يمكن من خلالها تغيير المسلمة الثانية فقط. يتضح أن في استطاعتك ذلك، وكان إنجاز هذا أحد الأمور الأكثر إثارة التي كان لدى الحظ الجيد للمشاركة فيها خلال حياتي المهنية.

يطلق على النظرية الجديدة النسبية العامة المشوهة أو المضاعفة – DSR للاختصار. أتت من طرح سؤال بسيط، بدا أنه يؤدي إلى تناقض:

كما تمت ملاحظته، يُعتقد أن طول بلانك هو نوع من العتبة تحتها يظهر نوعا جديدا من الهندسة، هي هندسة ميكانيكية كمية من حيث الجوهر. توافق المقاربات المختلفة للجاذبية الكمية على أمر واحد: طول بلانك بمعنى ما حجم أصغر شيء يمكن رصده. السؤال هو، هل يتفق كل الراصدين على ماهية هذا الطول الأصغر؟

تبعًا لنظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، لا يتفق الراصدون المختلفون على أطوال الأشياء المتحركة. المراقب الذي يركب على عصا قياس سيقول إن طوله متر. لكن أي راصد يتحرك بالنسبة إليه سوف يرصد أنه أقصر. ويسمي أينشتاين هذا ظاهرة تقلص الطول.

لكن هذا يتضمن أنه لا يمكن وجود هذا الذي يسمى "أقصر طول". أيًا كان قصر شيء ما، يمكنك الاستمرار في جعله أقصر بالحركة بالنسبة إليه قريبًا جدًا من سرعة الضوء. بذلك يبدو هناك تناقض بين فكرة طول بلانك والنسبية الخاصة.

والآن، قد تظن أن أي شخص يشترك بشكل محترف في مشكلة الجاذبية الكمية لا بد أنه تعثر في هذا التناقض. بل ربما تظن أن طالبًا ذكيًا دون التخرج في أول سنة من منهج فيزياء قد طرح هذا السؤال. على أي حال، كل عالم فيزياء لامع مسئول عن العمل الشاق في نظرية الأوتار والجاذبية الكمية كان ذات مرة طالبًا ساذجًا. ألن يحدث على الأقل أن قلة رأت هذه المشكلة؟ لكن في حدود معرفتي قلة قليلة جدًا فعلت ذلك، حتى وقتنا الحالي.

أحد من فعلوا ذلك كان جيوفاني أميلينو- كاميليا. عند نقطة ما في ١٩٩٩، وصل إلى التناقض الذي وصفناه توًا، وحله. فكرته كانت مد التفكير المنطقي الذي قاد أينشتاين إلى النسبية الخاصة.

المسلمة الثانية للنسبية الخاصة، التي تقول بأن سرعة الضوء عمومية، بدت متناقضة تقريبًا في حد ذاتها. لماذا؟ افترض فوتونًا فرديًا، يتتبعه راصدان. افترض أن الراصدين يتحركان بالنسبة لبعضهما. لو أنهما قاسا سرعة الفوتون الفردي، قد نتوقع بشكل طبيعي أنهما سيحصلان على إجابتين مختلفتين، لأن الأشياء الطبيعية تسلك بهذه الطريقة. لو أنني رأيت حافلة تمر أمامي بما رأيته يشبه سرعة ١٠ كيلومترات في الساعة لأنني في سيارة تهدر في الطريق السريع بسرعة ١٤٠ كيلومترا في الساعة، فإن راصدًا يقف على جانب الطريق سيرى أن الحافلة تتحرك بسرعة ١٥٠ كيلومترا في الساعة. لكن لو كنت أرصد فوتونًا تحت نفس الظروف، تقول النسبية الخاصة إن الراصد على جانب الطريق سيقيس أن للفوتون نفس السرعة التي أظن أنها سرعة الفوتون.

لذلك لماذا لا يكون هذا تناقضًا؟ الأمر الأساسي أننا لا نقيس السرعة بشكل مباشر. السرعة نسبية: إنها مسافة معينة لكل زمن معين. الإدراك الأساسي لأينشتاين هو أن الراصدين المختلفين يقيسون أن للفوتون نفس السرعة، حتى لو أنهم كانوا يتحركون بالنسبة لبعضهم البعض، لأنهم يقيسون المكان والزمن بشكل مختلف. تتغير قياساتهم للزمن والمسافة من راصد إلى آخر بطريقة تجعل سرعة واحدة، هي سرعة الضوء، شاملة.

لكن إذا كنا نستطيع فعل ذلك بالنسبة لثابت واحد، لماذا لا نفعل ذلك مع ثابت آخر؟ هل يمكننا أن نخدع المسافة بحيلة أيضًا؟ أي، نحن نفهم أن الراصدين، بشكل عام، يقيسون قضيب قياس متحرك أن طوله أقل من متر. قد يكون هذا صحيحا بالنسبة لأغلب الأطوال، لكن يمكننا ترتيب الأشياء بحيث عندما نقطع في النهاية الطريق هابطين إلى طول بلانك، يتلاشى التأثير؟ هذا يعني أنه لو كان القضيب بطول طول بلانك بالضبط، فإن كل الراصدين سيتفقون على طوله، حتى لو كان يتحرك. هل يمكن أن يكون لدينا عندئذ كميتان شاملتان، سرعة وطولا؟

هرب أينشتاين من الخدعة الأولى لأنه لا شيء يتحرك أسرع من الضوء. هناك نوعان من الأشياء في العالم – أشياء تتحرك بسرعة الضوء وأشياء تتحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء. لو أن راصدًا واحدًا رأى شيئًا ما يتحرك بسرعة الضوء بالضبط، سوف يتفق معه كل الراصدين على ذلك، أيضًا.

كانت فكرة أميلينو-كاميليا أن يلعب نفس اللعبة مع الطول. اقترح تعديل قواعد اختلاف قياسات المكان والزمن من راصد إلى آخر، بحيث لو أن شيئًا ما هو طول بلانك، عندئذ سوف يتفق كل الراصدين على أنه بطول طول بلانك، ولو أنه أطول من ذلك، سوف يتفق كل الراصدين على ذلك، أيضًا. يمكن لهذا المخطط أن يكون متسقًا، لأنه لا شيء يمكن أن يكون أصغر من طول بلانك، بالنسبة لأي راصد.

توصل أميلينو-كاميليا بسرعة إلى أن هناك تعديلا لمعادلات النسبية الخاصة لأينشتاين تحقق هذه الفكرة. أطلق عليها النسبية الخاصة المضاعفة، لأن الخدعة التي تمت لصياغة النسبية الخاصة تم لعبها الآن مرتين. كنت أتابع جهوده لابتكار طرق لسبر مقياس بلانك، لكن في ٢٠٠٠، عندما نشر مطبوعة حول فكرة النسبية الخاصة المضاعفة، لم أفهمها في البداية[١].

هذا مربك بما يكفي، لكن في ما يلي ما هو أكثر إثارة للارتباك أيضًا. منذ عشر سنوات سابقة، كنت قد وجدت مصادفة نفس التناقض. لقد ظهر في عمل كنت أقوم به في نظرية للجاذبية الكمية اسمها الجاذبية الكمية للأنشوطة. التفاصيل ليست مهمة – الفكرة أن حساباتنا في الجاذبية الكمية للأنشوطة بدت متناقضة مع نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين. والآن أفهم أن هذه الحسابات الخاصة لا تتناقض بالفعل مع النسبية الخاصة لأينشتاين. لكن في ذلك الوقت، كان الاحتمال مروعا جدًا للتمعن في الفكرة، وبعد النضال معها، أسقطت كل مسلك البحث. بالفعل، كان هذا هو أول سلسلة خطوات قادتني في النهاية إلى هجر الجاذبية الكمية للأنشوطة والعمل لوقت ما على نظرية الأوتار.

لكن تمامًا قبل أن أسقطها، كانت لديّ فكرة: ربما يمكن تعديل النسبية الخاصة بحيث يتفق كل الراصدين، سواء كانوا يتحركون أم لا، حول ماهية طول بلانك. تلك كانت الفكرة المهمة للنسبية الخاصة المضاعفة، رغم أنني لم أكن مبدعًا بما يكفي لإعطائها أي معنى، وانطلقت عندئذ إلى شيء آخر. حتى بعد أن رأيت بحث أميلينو-كاميليا بعد عشر سنوات لم يجعل هذه الفكرة تعود إليّ. كان عليّ أن أصل إلى الفكرة من اتجاه آخر. في ذلك الوقت، كنت أزور بروفيسورًا في الإمبريال كولدج في لندن، وكنت على معرفة بعالم مشهور هناك اسمه جوو ماجويجو، عالم كون شاب لامع من البرتغال، في نفس عمر جيوفاني أميلينو-كاميليا وله نفس المزاج اللاتيني الحاد.

كان جوو ماجويجو مشهورا بأن لديه فكرة مجنونة حقًا، وهي أن الضوء ينتقل أسرع في الكون المبكرة جدًا. وهذه الفكرة جعلت التضخم لا ضرورة له، لأنها تفسر كيف أن كل منطقة من الكون المبكر كانت على اتصال سببي، وبذلك لها نفس درجة الحرارة. لعله لم تكن هناك حاجة لتمدد أسي في اللحظات المبكرة أكثر لإحداث ذلك.

هذا أمر لطيف، لكن الفكرة مجنونة – مجنونة فعلاً. هي لا تتفق مع كل من النسبية الخاصة والعامة. لا يمكن وصفها سوى بأنها "هرطقية". مع ذلك، لدى عالم الأكاديمية البريطانية شعور رقيق تجاه الهرطوقيين، وكان ماجويجو يتقدم بثبات في الإمبريال كولدج. لو أنه كان في الولايات المتحدة، أشك في أنه كان سيتم حتى توظيفه كأكاديمي بمثل هذه الفكرة.

كان ماجويجو قد طور فكرته مع بروفيسور شاب في الإمبريال اسمه أندريس ألبريشت Andreas Albrecht، وباعتباره طالب دراسات عليا في جامعة بنسيلفانيا كان أحد مبتكري التضخم. وكان ألبريتش قد غادر إنجلترا حديثًا ليعود إلى أمريكا. بعد أن كنت في الإمبريال لعدة أشهر، وجدت ماجويجو على بابي. أراد أن يعرف ما إذا كانت هناك طريقة لجعل فكرته عن الضوء متغير السرعة VSL متسقة كونيًا مع النسبية الخاصة والعامة. بطريقة ما شعر بأن الكلام معي قد يكون مفيدًا.

لم أكن أعرف في ذلك الوقت أن هذا قد تم إنجازه حقًا. بالفعل، كان قد تم تطوير علم كون VSL سابقًا، بواسطة بروفيسور الفيزياء في تورونتو المبدع جون موفات. بصفته هرطوقي وأكثر من ذلك لعدة مرات، كان موفات قد ابتكر فكرة وعمل على تحقيقها بطريقة كانت متسقة مع كل من النسبية الخاصة والعامة، لكن محاولاته لنشر نظريته في مجلة علمية قوبلت بالرفض.

كما حكى جوو قصته في كتابه ٢٠٠٣، "أسرع من سرعة الضوء"، كان يعرف عن أعمال موفات عندما حاول هو وألبريشت نشر بحثهما الخاص[٢]. وكان من صفات جوو أن رد فعله كان احتضان موفات كصديق– وبالفعل، ظلا على قرب من بعضهما. عرف أن موفات يعمل في الوقت الذي بدأ يتكلم فيه معي، لكنني لا أظن أنه فهم أنه قد حل المشكلة التي كان يحاول حلها. أو لو كان قد فهم ذلك، فإنه لم يحب الطريقة التي تم بها إنجاز الأمر.

جون موفات هو صديق وزميل لي الآن في معهد بيرميتر للفيزياء النظرية. ليس هناك من أحترمه أكثر نظرًا لشجاعته وأصالته. ولقد عبرت

أيضًا عن مدى إعجابي بجيوفاني أميلينو-كاميليا لإيضاحاته حول سبر مقياس بلانك. لذلك يؤلمني الاعتراف بأنني وجوو تجاهلنا عمل كل منهما. إلى حد ما، كان من الجيد أننا فعلنا ذلك، لأننا وجدنا حلاً مختلفًا لمشكلة كيفية جعل السرعة المتغيرة للضوء تتسق مع مبادئ النسبية. لم أكن لأحاول بالتأكيد لو كنت قد عرفت أن المشكلة قد تم حلها بالفعل - وليس مرة واحدة، بل مرتين.

لقد جاء إليّ جوو في الغالب بهذه المشكلة. وكنت أوفر باستمرار الوقت للحديث معه، لأنني كنت مفتونًا بطاقته وطريقته المبتكرة في رؤية الفيزياء. لكن لعدة أشهر، لم أفكر بجهد شديد في ما كان يقوله. جاءت الفكرة المحورية عندما عرض عليّ كتابًا قديمًا تمت مناقشة المشكلة فيه. كان كتابًا تقليديًا عن النسبية العامة لعالم الفيزياء الرياضي الروسي الشهير فلاديمير فوك **Vladimir Fock**(٣). كنت على علم ببعض من أعمال فوك في نظرية المجال الكمي (وكل علماء الفيزياء كانوا يعرفون)، لكنني لم أر أبدًا كتابه عن النسبية. المشكلة التي كان جوو يحاول أن يجعلني أفكر فيها كانت مسألة واجب منزلي في كتاب فوك. بمجرد أن رأيته، تذكرت فكرتي منذ عشر سنوات سابقة، وجاء الأمر كله معًا. كانت الفكرة بالفعل المحافظة على مبادئ النسبية الخاصة لأينشتاين ولكن مع تغيير القواعد بحيث يتفق كل الراصدين على أن كلاً من سرعة الضوء ومقياس بلانك شاملين. بالفعل، السرعة المتسقة لم تعد هي سرعة كل الفوتونات، بل هي فقط سرعة الفوتونات منخفضة الطاقة جدًا.

في البداية لم نعرف ما نفعله بهذه الفكرة. ولدينا قصة، في ما يخص بعض قطع الرياضيات، لكنها ليست بعد نظرية كاملة. في نحو ذلك الوقت، كنت في رحلة تضمنت توقفًا في روما، حيث قضيت عدة ساعات أتحدث مع جيوفاني أميلينو-كاميليا. فجأة فهمت ما كان يقوله. لقد وصل إلى نفس الفكرة التي كنا نقوم بتطويرها، ووصل إليها في وقت مبكر أكثر وتحقق منها أولاً. ورغم ذلك، كان هناك الكثير حول الطريقة التي حقق بها الفكرة وهي ما لم أفهمه. بدت الرياضيات معقدة، وبدت مرتبطة بشكلية تم ابتكارها منذ نحو عشرة أعوام سابقة بواسطة جماعة من علماء الفيزياء الرياضية البولنديين – شكلية لم أستطع اختراقها بالتأكيد.

احتجت إلى كثير من السنوات لتقييم حدة الذهن الرياضية للموضوع. وجدتها غير قابلة للاختراق حتى بدأت في قراءة الأبحاث المبكرة بواسطة عالم رياضيات إنجليزي هو شاهين ماجد **Shahn Majid**، وكان أحد مبتكري الجماعات الكمية. كانت أعمال ترتبط عن قرب بالرياضيات التي كانت تستخدمها الجماعة البولندية. بدأ ماجد ببعض الأفكار المتبصرة حول كيفية التعبير عن التبصرات الأساسية للنسبية والنظرية الكمية في بنية رياضية واحدة. وقاده هذا إلى مجموعات كمية (وهي امتداد ثوري لفكرة التماثل) ثم إلى تعديلات على النظرية النسبية قائمة على الموضوع الذي نطلق عليه هندسة غير تبادلية. تعتبر تبصراته في قلب الرياضيات المطلوبة للتعبير عن **DSR** بوضوح، لكنها فُقدت – على الأقل بالنسبة لي – في أبحاث معقدة حيث رأيتها في البداية وقد تم التعبير عنها.

على أي حال، تجاهلنا أنا وجوو الرياضيات واستمر حديثنا حول الفيزياء. قاطع تقدمنا انتقالي إلى كندا، إلى معهد بيريميتر المؤسس حديثًا، في سبتمبر ٢٠٠١. بعد شهر، جاء جوو إلى بريميتر كثاني زائر له. تم طرح النظرية في النهاية في مساء وصوله. كنا نعمل في مقهى أعلى واترلو يسمى سيمبوسيام، بأرائك مريحة. كان في حالة عدم توازن. وكنت قد تعرضت لصدمة وكنت مرهقًا، حيث كنت عائدًا على التو من عطلة نهاية أسبوع في نيويورك ما بعد أحداث ١١ سبتمبر. سقطت نائمًا بينما كان جوو يتحدث، ثم استيقظت لأجده في نوم خفيف. تذكرت شيئًا قاله عندما كنت أفقد الوعي، وتعاملت معه على حشية، ثم سقطت في النوم من جديد. استيقظت عندما كان قد بدأ في الكلام، وكان لدينا بضع دقائق مشتركة صافية قبل أن أسقط في النوم مرة أخرى. وهكذا انقضى ما بعد الظهر، ونحن نتكلم، ونجري الحسابات، ونغفو بالدور. يمكنني أن أتخيل فقط ما ظنه طاقم المقهى. لكن عند نقطة ما خلال ما بعد الظهر، صادفنا عاملاً مهمًا كان يراوغنا منذ أشهر، له علاقة بمقايضة كميات تحرك المواقع. عندما أصبحنا مرهقين، كنا قد ابتكرنا نوعًا ثانيًا من **DSR**، أكثر بساطة من ذلك الذي كان قد طوره جيوفاني أميلينو-كاميليا. والآن هو معروف للخبراء باعتباره **DSR II**.

هذا هو تقريبًا ما أراده جوو. في نسختنا، الفوتونات التي لها طاقة أكثر تنتقل أسرع. هكذا، في الكون المبكر جدًا، عندما كانت درجة الحرارة عالية جدًا، كانت سرعة الضوء، في المتوسط، أسرع مما هي عليه الآن. كلما عدت بعيدًا إلى الخلف في الزمن وكلما اقتربت درجة الحرارة من طاقة

بلانك، تصبح سرعة الضوء لانهائية. واحتاج الأمر إلى زمن أطول لتوضيح أن هذا يؤدي إلى نوع من نظرية تغير سرعة الضوء كانت متسقة أيضًا مع مبادئ النسبية العامة، لكننا وصلنا أخيرًا إلى ذلك، أيضًا. أطلقنا على هذه النظرية اسم قوس قزح جرافتي، على اسم رواية توماس بينشون **Thomas Pynchon**.

"النسبية الخاصة المضاعفة" تسمية غبية، لكنها استقرت. الفكرة هي فكرة أنيقة، ويزداد الآن دراستها ومناقشتها. لا نعرف ما إذا كانت تصف الطبيعة، لكنني نعرف عنها بما يكفي لمعرفة أنها تستطيع أن تفعل ذلك.

لم تكن ردود الفعل الأولى عن **DSR** مشجعة. قال البعض إنها غير متسقة، وآخرون قالوا إنها لم تكن سوى طريقة معقدة جدًا لكتابة نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين. وقدم بضعة أشخاص كلا من النقدين.

نرد على النقد الثاني بتوضيح أن النظرية تقدم تنبؤات مختلفة عن تلك التي تقدمها النسبية الخاصة. الدور المهم في هذه المناقشات لعبه أحد الأنصار مرتفعي الثقافة لموسيقى المعدن الثقيل (ضرب عنيف من موسيقى الروك آند رول – المترجم) اسمه جيرزي كوفالسكي-جليكمان **Jerzy Kowalski-Glikman**، من وارسو. (ربما كونه أوروبيا فقط هو الذي مكنه أن يكون هو الاثنين حقًا). أعتقد أنه كان أول شخص فهم بالفعل ما كان يقوله جيوفاني أميلينو-كاميليا، لقد فهمت بالتأكيد أبحاثه، التي كانت مختصره ونقية الوضوح، قبل أن أفهم أبحاث جيوفاني التي كانت طويلة، مطبوعة بحروف طباعة صغيرة، ومليئة بالمواد الخارجة عن الموضوع وبالتفاصيل.

وجد جيرزي عدة نتائج مهمة للنسبية الخاصة المضاعفة، وكان هو الذي قام بتعديل العلاقة بين جهودنا والأعمال الرياضية الأقدم لزملائه البولنديين.

نقطة التحول في فهمي لـ DSR ولكيفية ارتباط المقاربات المختلفة لها كان مناقشة أجريناها بعد ظهر يوم ما في بيت صديقتي في تورونتو. أنا وجيوفاني، وجيرزي، وجوو ضغطنا أنفسنا حول مائدة صغيرة في حجرة طعام ضيقة في محاولة لسبر أغوار عدم الاتفاق وسوء الفهم بيننا. أصر جيرزي تمامًا على أنه لو كان هناك شيء له معنى، يجب أن يتلاءم مع بنية رياضية متسقة، وهو ما يعني بالنسبة إليه هندسات غير تبادلية درسها هو وزملاؤه البولدنيون. قال جوو إن كل ما يتعلق بالفيزياء يمكن فهمه بدون الرياضيات الخيالية. قال جيوفاني إن من السهل قول هراء حول هذه النظريات لو أنك لم تكن حذرًا تجاه أيّ من التعبيرات الرياضية تناظر الأشياء التي يمكن قياسها. عند نقطة ما – لا أتذكر التعليق الخاص الذي تسبب فيها – أمسك جيوفاني بسكين الخبز المفزعة وانفجر ضاحكًا، "لو أن ما تقوله صحيح، لشققت حلقي. الآن!".

حدقنا فيه. وبعد لحظة صمت صادمة، انهرنا ضاحكين، وهو ما فعله أيضًا. فقط عندئذ كان كل منا جاهزًا لبدء الاستماع إلى ما كان يقوله الآخرون.

في الواقع، هناك أنواع مختلفة من DSR، التي تعطي تنبؤات مختلفة. في بعضها، توجد طاقة لا يمكن تخطيها، تشبه السرعة القصوى للضوء. وفي الأخرى، لا توجد طاقة قصوى لكن هناك كمية حركة قصوى. هذا سوء حظ، لأنه يقلل من القوة التنبؤية للنظرية، لكن يبدو أنه يقلل من اتساق النظرية، لذلك هو أمر يجب أن نتعايش معه.

اتساق DSR تم توضيحه بالتأكيد على أن هناك كونا محتملا تكون فيه DSR صحيحة. الكون المحتمل يشبه كوننا، باختلاف واحد، وهو أن للمكان بعدين فقط. في الثمانينيات تم اكتشاف أن الجاذبية الكمية يمكن تعريفها بدقة في عالم ببعدين مكانيين فقط. نطلق على هذا الجاذبية الكمية ٢ + ١، لبعدين في المكان وبعد واحد للزمن. يضاف إلى ذلك، لو أنه ليس هناك مادة، يمكن حل النظرية بدقة – أي، يمكن العثور على تعبيرات رياضية دقيقة تجيب عن أي سؤال يمكن طرحه حول العالم الذي تصفه النظرية.

يتضح أن DSR صحيحة في أي عالم له بعدان للمكان، وجاذبية كمية، ومادة. الشكل الخاص لــ DSR الذي يتم تحقيقه هو شكل تم اكتشافه في الأصل بواسطة جيوفاني. عندما ننظر أنا وجيرزي إلى الخلف في الكتابات، نرى أن عدة أشخاص وصلوا إلى سمات من هذا العالم ذي البعدين كانت جوانب من DSR، لكنهم فعلوا ذلك قبل ابتكار مفهوم DSR. ونحن نشعر بالإثارة، وصفنا ذلك للورنت فريديل **Laurent Freidel**، زميل في بيريميتر من فرنسا عمل على الجاذبية الكمية. أخبرنا أنه ليس على معرفة بذلك فقط ولكنه حاول أن يخبرنا به سابقًا. أنا متأكد أن هذا صحيح. في المناقشة، كان لدى فريديل طاقة أكثر مما كان لديّ، وكنت أفشل عادة في فهم ما كان يقوله، ويكون رد فعله تجاه ذلك أن يتكلم بشكل أسرع وبصوت أعلى. على أي حال، كتبنا بحثًا معًا يفسر سبب أن DSR يجب أن تكون صحيحة لأكوان ذات بعدين في المكان(٤).

أحيانًا بعد ذلك، أوضح فريديل، بمساعدة إتيرا ليفين Etera Livine، أكاديمي فرنسي تاهيتي في بيريميتر، بالتفاصيل كيف يتحقق DSR في نظرية ١+٢ الجاذبية البعدية مع المادة(٥). هذه نتائج مهمة، بسبب أن هناك نموذجا للعالم المحتمل، حيث تضمن DSR حقًا اتساق النظرية.

لم تكن هناك مشكلة واحدة أخرى يجب حلها قبل اعتبار DSR نظرية قابلة للتطبيق. كما تمت ملاحظته، في الكثير من الأنواع هناك طاقة قصوى يمكن أن تكون لأي جسيم، والتي يتم اعتبارها عادة طاقة بلانك. ليست هذه مشكلة من الناحية التجريبية، لأن أغلب الطاقات التي تمت ملاحظتها هي تلك الخاصة بالبروتونات في كاشف الأشعة الكونية AGASA، وهي نحو جزء من مليار من هذه الطاقة القصوى.

لكن في بادئ الأمر، بدا أنه من الواجب تطبيق هذا الحد على أي نوع من الجسم: ليس فقط الإلكترونات أو البروتونات، ولكن الكلاب، والنجوم، وكرة القدم يجب أن يكون لها جميعًا طاقة أقل من الطاقة القصوى. يتناقض هذا بوضوح مع الطبيعة، لأن أي منظومة فيها أكثر من $١٠^{١٩}$ بروتون لها طاقة أكثر من كتلة بلانك. لدى الكلاب نحو $١٠^{٢٥}$ بروتون، وللنجوم حتى ما هو أكثر. نسمي هذا مشكلة كرة القدم.

توجد مشكلة كرة القدم في عالم البعدين، لكن ليست هناك حاجة لحلها هناك، حيث إننا لا نجري تجارب في ذلك العالم. من الصحيح ببساطة، في ذلك العالم، أن أي شيء له طاقة أقل من طاقة بلانك، أيًا كان عدد الجسيمات التي يتكون منها.

هناك حل طبيعي لمشكلة كرة القدم هذه يجب أن يكون صحيحًا في عالمنا ذي الأبعاد الثلاثة للمكان. اقترحت أنا وجوو هذا الحل في وقت مبكر. الفكرة هي أن أي جسم له طاقة قصوى تكون طاقة بلانك واحدة لكل بروتون يحتوي عليه. بذلك، لا يمكن أن يكون لكرة قدم، وفيها نحو ١٠^٢٥ بروتون، طاقة أكثر من ١٠^٢٥ طاقات بلانك. ليست هناك، من ثم، مشكلة مع الرصد.

نستطيع رؤية أن هذا الحل يمكن أن يكون ناجحًا، لكننا لا نعرف لماذا يجب أن يكون صحيحًا. تم تقديم تفسير حديثًا بواسطة إتيرا ليفين وفلوريان جيريلي **Florian Girelli**، الأكاديمي الآخر في بيريميتر من فرنسا. لقد وجدا طريقة مدهشة لصياغة النظرية بحيث يظهر فجأة هذا الحل(٦). والآن بعد حل مشكلة كرة القدم، لا توجد عقبة أعرفها أمام أن تكون **DSR** صحيحة لعالمنا. قد يتم إثباتها تمامًا بواسطة أرصاد أوجير و**GLAST**، التي تمت خلال السنوات القليلة الماضية، وإذا لم يحدث ذلك، سيتضح على الأقل أنها خاطئة، وهو ما يعني أن **DSR** نظرية علمية حقيقية.

يمكننا الآن العودة إلى السؤال عن تضمينات النظريات المختلفة للجاذبية الكمية لو انهارت النسبية الخاصة. لقد رأينا أن مثل هذا الانهيار قد يعني أمرين مختلفين، اعتمادًا على ما تخبرنا به التجارب. يمكن للنسبية الخاصة أن تنهار تمامًا عند هذا المقياس، مما قد يعني أن هناك بالفعل تمييزا تاما بين الحركة والسكون. أو قد تكون النسبية الخاصة محفوظة لكن يتم تعميقها، كما هو أمر **DSR**.

هل يمكن لنظرية الأوتار أن تنجو من كلا التغيرين؟ بالتأكيد قد تتم البرهنة على أن كل نظريات الأوتار المعروفة خاطئة، حيث إنها تعتمد بشدة على أن تكون النسبية الخاصة صحيحة. لكن هل يظل هناك نوع من نظرية الأوتار قد يتسق مع كلا النوعين من الانهيار؟ أكد لي العديد من علماء نظريات الأوتار أنه حتى لو تم التوصل إلى أن النسبية الخاصة تنهار أو يتم تعديلها، قد يشهد يوم ما ابتكار شكل من نظرية الأوتار يمكنه التكيف مع ما قد يراه علماء التجارب. ربما كانوا على حق. لنظرية الأوتار، كما ذكرنا، الكثير من المجالات لم يتم رصدها. هناك الكثير من الطرق لتغيير خلفية نظرية الأوتار بحيث تكون هناك حالة سكون مفضلة، بحيث تكون نسبية الحركة خاطئة. ربما بهذه الطريقة يمكن هندسة نوع من نظرية الأوتار تتفق مع التجربة.

ماذا عن DSR؟ هل يمكن أن يكون هناك نوع من نظرية الأوتار يتسق معها؟ حتى كتابة هذا الكتاب، فقط اعتبر أنا وجوو ماجويجو الأشخاص الذين يحققون في هذا السؤال، والأدلة التي حصلنا عليها مختلطة. استطعنا إنشاء نظرية أوتار تتفق مع بعض اختبارات الاتساق، لكننا لم ننجح في العثور على إجابة واضحة بالنسبة للاختبارات الأخرى.

لذلك، بينما كل الأنواع المعروفة من نظرية الأوتار تتسق مع النسبية الخاصة، فالصحيح أيضًا أنه لو ثبت أن النسبية الخاصة خاطئة، قد يستطيع علماء نظرية الأوتار تسوية هذا الاكتشاف. الذي يحيرني هو سبب أن علماء نظرية الأوتار يظنون أن هذا يساعد قضيتهم. بالنسبة لي، إنه على الأكثر

مؤشر على أن نظرية الأوتار عاجزة عن تقديم أية تنبؤات لأنها ليست أكثر من تجميع لنظريات، لكل منها عدد هائل من الخلفيات المحتملة. المسألة موضع الخلاف في أرصاد GLAST وأوجير هي تماثل المكان والزمن. في نظرية تعتمد على الخلفية، يتقرر ذلك باختيار الخلفية. مادام النظرية تسمح بذلك، يمكنك الحصول على أية إجابة تحتاج إليها باختيار الخلفية المناسبة. هذا يختلف جدًا عن تقديم تنبؤ.

ماذا عن المقاربات الأخرى للجاذبية الكمية؟ هل تنبأت أي منها بانهيار النسبية الخاصة؟ في أي نظرية مستقلة عن الخلفية، يكون الموقف مختلفا جدًا، لأن هندسة الزمكان غير محددة باختيار الخلفية. ويجب أن تظهر هذه الهندسة باعتبارها نتيجة لحل النظرية. يجب أن تقدم المقاربة غير المعتمدة على الخلفية للجاذبية الكمية تنبؤًا حقيقيًا حول تماثل المكان والزمن.

كما ناقشت سابقًا، لو أن للعالم بعدين للمكان، نحن نعرف الإجابة. ليست هناك حرية، وتوضح الحسابات أن الجسيمات تسلك تبعًا لـــ **DSR**. هل نفس الشيء قد يكون صحيحًا في العالم الحقيقي، بثلاثة أبعاد للمكان؟ حدسي هو أنه يمكن ذلك، ولدينا نتائج في الجاذبية الكمية للأنشوطة تقدم الأدلة على صحة هذه الفكرة، لكن لم يتم إثباتها حتى الآن. أعز أمل لي أن يتم حل هذه المسألة بسرعة، قبل أن تخبرنا الأرصاد بما هو حقيقي. قد يكون من المثير للدهشة الحصول على تنبؤ حقيقي من نظرية كمية للجاذبية ثم يتضح أنها خاطئة بواسطة رصد غير مبهم. قد يكون هناك شيء وحيد أفضل لو أثبتت تجربة صحة التنبؤ. بكلا الطريقتين ننجز علمًا حقيقيًا.

١٥

الفيزياء بعد نظرية الأوتار

في الفصلين السابقين، رأينا أن هناك سببا لتوقع تقدم مثير في أبحاث قوانين الطبيعة. هناك تلميحات على أن اكتشافات تجريبية مدهشة قد تحدث في المستقبل القريب. ويتيح التوسع بعيد المدى في نظرية النسبية تنبؤات لتجارب قيد التطوير. سواء كانت النسبية الخاصة المضاعفة صحيحة أم لا، فإنها علم حقيقي، لأن التجارب التي يجري إعدادها الآن إما ستثبت أو تدحض تنبؤاتها الرئيسية.

ولقد دشن بالفعل علماء النظريات وعلماء التجارب الذين وصفت أعمالهم في الفصلين السابقين عصر ما بعد الأوتار في الفيزياء الأساسية. في هذا الفصل، سوف آخذك في جولة في هذا العالم الجديد، ملقيًا الضوء على الأفكار والتطورات الواعدة أكثر من غيرها. بالنظر في ما بعد نظارية الأوتار، نجد تجديدًا كبيرًا لنظرية أساسية تأسست بالطريقة قديمة الطراز - من خلال تفكير شاق مركز حول الأسئلة الأساسية، واع بالتطورات في كل من الرياضيات والفيزياء التجريبية. في كل مجالات التخوم - الجاذبية الكمية، وأسس الفيزياء الكمية، وفيزياء الجسيمات الأولية، وعلم الكون -

تتطور أفكار شجاعة جديدة تترادف مع تجارب فاتنة جديدة. هذه المبادرات يجب تنميتها وإلا ستموت بسبب الإهمال وعدم الاكتراث، لكنها تعد بالكثير.

دعنا نبدأ بمجال نرى فيه تقدمًا سريعًا: مقاربات لجاذبية كمية تحتضن أكثر من أن تتهرب من الاكتشاف العظيم لأينشتاين أن هندسة الزمكان ديناميكية ومشروطة.

كما أكدت عدة مرات، لا يكفي أن يكون لدينا نظرية بجرافيتونات ناتجة عن أوتار تتذبذب في المكان. نحتاج إلى نظرية حول ما يؤلف المكان، نظرية مستقلة عن الخلفية. كما ذكرنا سابقًا، نجاح النسبية العامة يبين أن هندسة المكان ليست ثابتة. فهي ديناميكية وتتطور مع الزمن. هذا اكتشاف أساسي لا يمكن عكسه، لذلك أي نظرية أخرى يجب أن تدمجه معها. لا تفعل نظرية الأوتار ذلك، لذلك لو كانت نظرية الأوتار صحيحة، يجب أن يوجد خلفها نظرية أساسية أكثر – نظرية مستقلة عن الخلفية. بعبارة أخرى، سواء كانت نظرية الأوتار صحيحة أم لا، يظل علينا أن نكتشف نظرية مستقلة عن الخلفية للجاذبية الكمية.

لحسن الحظ، وبفضل الأعمال خلال العشرين سنة الأخيرة، نعرف الكثير عن كيفية إنشاء مثل هذه النظرية. انطلق مجال مقاربات الاستقلال عن الخلفية للجاذبية الكمية في ١٩٨٦، بعد عامين فقط من أول ثورة نظرية أوتار. كان المحفز ما نشره عالم الفيزياء النظرية أبهاي أشتيكار Abhay Ashtekar، وكان حينئذ في جامعة سيراقوسة في صقلية، عن إعادة صياغة للنسبية العامة يجعل

الأسئلة أكثر سهولة[١]. من المثير بما فيه الكفاية، أن النشر فعل ذلك بالتعبير عن نظرية أينشتاين على هيئة قريبة جدًا من التعبير عن نظريات القياس – النظريات التي تشكل أساس النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات.

لسوء الحظ، لم يلق معظم علماء نظرية الأوتار اهتمامًا بالتقدم الملحوظ الذي تم في مجال الجاذبية الكمية في السنوات العشرين الماضية، لذلك تطور المجالان بشكل مستقل عن بعضهما. قد يبدو هذا النقص في الاتصال غريبًا لأي شخص من الخارج. وهو يبدو غريبًا بالتأكيد بالنسبة لي، وهذا هو سبب أنني بذلت أفضل ما لديّ لعكسه بأن جادلت كل مجموعة بفضائل المجموعة الأخرى. لكن لا يمكنني القول بأنني نجحت كثيرًا. الفشل في جعل الناس الذين يعملون على نفس المشكلة من وجهات النظر المختلفة يتواصلون مع بعضهم البعض هو جزء مما قادني للاعتقاد بأن الفيزياء في أزمة – وللتفكير بجهد حول كيفية إنقاذها.

مجمل جو مجال الجاذبية الكمية مختلف عنه بالنسبة لنظرية الأوتار. ليست هناك نظريات شامخة، ولا بدع ولا موضات. هناك فقط قلة قليلة جدًا من الأشخاص الممتازين يعملون بجهد على عدة أفكار على علاقة متقاربة. هناك عدة اتجاهات تم استكشافها، لكن هناك أيضًا بعض أفكار التوحيد تعطي المجال ترابطا منطقيا كليا.

من السهل ذكر فكرة التوحيد الأساسية: لا تبدأ بالمكان، أو أي شيء يتحرك في المكان. ابدأ بشيء ما يكون ميكانيكيا كميًا تمامًا وله، بدلاً عن المكان، نوع ما من البنية الكمية تمامًا. لو أن النظرية صحيحة، عندئذ يجب

أن يظهر المكان، ليمثل بعض الخواص المتوسطة للبنية. بنفس طريقة ظهور درجة الحرارة باعتبارها تمثيلا للحركة المتوسطة للذرات.

لذلك يعتقد الكثير من علماء الجاذبية الكمية أن هناك مستوى أعمق للحقيقة، حيث لا يوجد المكان (هذا بأخذ الاستقلال عن الخلفية إلى أقصى حدودها المنطقية). حيث إن نظرية الأوتار تتطلب وجود نظرية مستقلة عن الخلفية ليكون لها معنى، فإن الكثير من علماء نظرية الأوتار أشاروا إلى أنهم يتفقون على ذلك. بمعنى محدود معين، لو اتضح أن النوع القوي من حدس مالداسينا (انظر الفصل ٩) صحيح، سوف تظهر هندسة ذات تسعة أبعاد من هندسة ثابتة ذات ثلاثة أبعاد. ومن ثم ليس من المدهش سماع إدوارد ويتين وهو يقول، كما فعل في محاضرة حديثة في معهد كافلي للفيزياء النظرية في سانتا باربارا UC، إن "أغلب علماء نظرية الأوتار يشكون في أن الزمكان ظاهرة منبثقة" بلغة فيزياء المادة المكثفة"[٢].

بدأ بعض علماء نظرية الأوتار أخيرًا في تقدير وجهة النظر هذه، ويمكن للمرء أن يأمل فقط في أنهم سيتبعون ذلك بدراسة النتائج الراسخة التي تم الحصول عليها بالفعل. لكن في الحقيقة، أغلب الأشخاص في الجاذبية الكمية في عقولهم شيء ما أكثر جذرية من حدس مالداسينا.

نقطة البداية ليست شيئًا يشبه الهندسة. ما يعنيه الكثير منا في الجاذبية الكمية عندما نقول بأن المكان منبثق هو أن امتداد المكان وهم. تمامًا مثل أن الرقة الظاهرية للماء والحرير تخفي حقيقة، أن المادة مصنوعة من ذرات متميزة، نشك في أن نعومة المكان ليست حقيقية وأن المكان يظهر كتقريب لشيء ما يتكون من لبنات بناء لا يمكننا إحصاؤها. في بعض المقاربات، يعتبر

فقط أن المكان متكون من "ذرات" متميزة، وفي مقاربات أخرى، يتم بصرامة استنتاج هذا الافتراض بالجمع بين مبادئ النسبيّة العامة والنظرية الكمية.

فكرة التوحيد الأخرى هي أهمية السببية. في النسبية العامة التقليدية، تخبر هندسة الزمكان أشعة الضوء بكيفية الانتشار. وحيث إنه لا يمكن لشيء أن ينتقل أسرع من الضوء، فبمجرد معرفتك بكيفية انتشار الضوء، يمكنك تحديد ما هي الأحداث التي قد يسببها حادث معين. بمعرفة أمرين يحدثان، الأول يمكن أن يكون سببًا للثاني فقط لو أن جسيما ما انتشر من الأول إلى الثاني وهو ينتقل بسرعة تساوي سرعة الضوء أو أقل منها. هكذا، تحتوي هندسة الزمكان على معلومات حول ماهية الأحداث التي تسبب أحداثًا أخرى. ويُشار إلى ذلك باعتباره بنية سببية للزمكان.

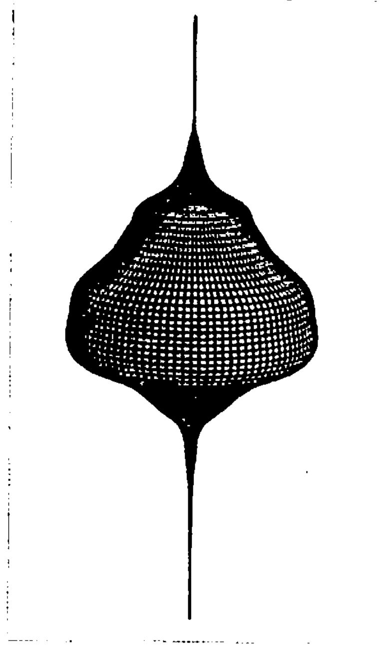
لا يقتصر الأمر على أن هندسة الزمكان تحدد ماهية العلاقات السببية. يمكن انعكاس ذلك: يمكن للعلاقات السببية أن تحدد هندسة الزمكان، لأن أغلب المعلومات التي نحتاج إليها لتعريف هندسة الزمكان ثابتة، لو عرفنا كيفية انتقال الضوء.

من السهل الحديث عن المكان أو الزمكان المنبثق من شيء ما أساسي أكثر، لكن هؤلاء الذين حاولوا تطوير الفكرة وجدوا أنه من الصعب تحقيقها في الممارسة. بالفعل، فشلت عدة مقاربات سابقة. نعتقد الآن أنهم فشلوا لأنهم تجاهلوا الدور الذي تلعبه السببية في الزمكان. في أيامنا هذه، يعتقد الكثير منا الذين يعملون على الجاذبية الكمية أن السببية نفسها أساسية – وهي بذلك ذات معنى حتى عند مستوى يختفي فيه مفهوم المكان[٣].

أغلب المقاربات الناجحة إلى الجاذبية الكمية حتى الآن هي الجمع بين هذه الأفكار الثلاث الرئيسية: أن المكان منبثق، وأن الوصف الأساسي أكثر تميزا، وأن هذا الوصف يتضمن السببية بطريقة أساسية.

الدراسة الراهنة للجاذبية الكمية تشبه من بعض الجوانب الفيزياء منذ مائة عام، عندما كان الناس يؤمنون بالذرات لكنهم لم يعرفوا تفاصيل البنية الذرية. لكن رغم هذا الجهل، استطاع لودفيج بولتزمان Ludwig Boltzmann، وأينشتاين، وآخرون أن يفهموا تمامًا الكثير حول المادة بأن استخدموا فقط حقيقة أنها مصنوعة من ذرات. بمعرفة لا تتجاوز الحجم التقريبي للذرة، استطاعوا حتى تقديم تنبؤات عن التأثيرات القابلة للرصد. بالمثل، استطعنا استنتاج نتائج مهمة من النماذج البسيطة القائمة فقط على ثلاثة مبادئ للانبثاق، والتميز، والسببية. وبسبب جهلنا بالتفاصيل، قدمت هذه النماذج أكثر الافتراضات الممكنة بساطة حول الوحدات المتميزة ثم معرفة ما يمكن الحصول عليه منها. تم ابتكار أكثر هذه النماذج نجاحًا بواسطة رينات لول Renate Loll وجان أمبجورن Jan Ambjorn وأُطلق عليه التثليث الديناميكي السببي(٤). ربما يكون هذا اسما تقنيا جدًا لمقاربة باستراتيجية بسيطة جدًا، هي التي تمثل العمليات السببية الأساسية بلبنات بناء بسيطة، والتي تشبه بالفعل الكتل التي يلعب بها الأطفال (انظر الشكل ١٤). يمكن تسميته مقاربة باكمنستر فولر Buckminster Fuller. الفكرة الأساسية هي أن هندسة الزمكان تتكون من تكديس عدد كبير من الكتل، يمثل كل منها عملية سببية بسيطة. هناك القليل من القواعد البسيطة التي تحكم كيفية تكدس الكتل وصيغة بسيطة تعطي الاحتمال الميكانيكي الكمي لمثل هذا النموذج لزمكان كمي.

إحدى القواعد التي وضعها لول وأمبجورن هي أن كل زمكان كمي يجب النظر إليه باعتباره نتيجة للأماكن المحتملة التي تلي بعضها البعض، مثل تكات الساعة الكونية. محور الزمن، كما يقال، عشوائي، كما في النسبية العامة، لكن حقيقة أن تاريخ العالم يمكن النظر إليه باعتباره تعاقب هندسات تلي بعضها البعض في الزمن ليس كذلك.



الشكل ١٤: نموذج كون كمي تبعًا لبرنامج التثليث الديناميكي السببي.
يصور الشكل تاريخ نموذج كون كمي بثلاثة أبعاد للمكان، أحدهم يسير بشكل أفقي، والآخر للزمن، الذي يسير رأسيًا.

مقدم من رينات لول

بوجود هذا القيد، إضافة إلى بضع قواعد بسيطة، كان لديهم دليل مهم على أن الزمكان التقليدي، بأبعاده الثلاثة للمكان وواحد للزمن، ينبثق من لعبة بسيطة بتكديس الكتل. هذا أفضل دليل حتى الآن في نظرية كمية مستقلة عن الخلفية على أن الزمكان التقليدي بأبعاد ثلاثة للمكان يمكن أن ينبثق من عالم كمي تمامًا قائم فقط على التميز والسببية. بشكل خاص، أوضح أمبجورن وآخرون أنه لو لم يتم وضع قيد على ما يخص السببية، لا تنبثق هندسة زمكان تقليدية.

أحد توابع هذه النتائج هو أن بعض الأفكار المعتقد في صحتها والأكثر انتشارًا حول الجاذبية الكمية خاطئة بالفعل. على سبيل المثال، اعتاد ستيفن هاوكنج وآخرون القول بأن البنية السببية غير جوهرية، وأنه يمكن إجراء الحسابات في الجاذبية الكمية بتجاهل الفروق بين الزمن والمكان – فروق توجد حتى في نظرية النسبية – ومعاملة الزمن كما لو أنه مجرد بعد آخر للمكان. هذا ما كان يعنيه هاوكنج بإشاراته الغامضة، في كتابه "تاريخ موجز للزمن"، إلى زمن "خيالي". وتوضح نتائج أمبجورن ولول أن هذه الفكرة خاطئة.

قبل عملهما، كان أشخاص آخرون قد تحققوا من فكرة أن لبنات البناء الأساسية للزمكان تتضمن السببية، لكن لم يكن أحد قد صادف نظرية يمكن من خلالها ظهور الزمكان التقليدي. مثل هذه الصيغة، والتي يطلق عليها نظرية المجموعة السببية، تأخذ الوحدات الأساسية للزمكان باعتبارها أحداثا مجردة، مميزاتها الوحيدة قوائم من أحداث أخرى قد تكون أحدثتها ويمكن أن تكون هي نتيجة لها. هذه الأفكار أكثر سهولة حتى من نماذج لول

وأمبجورن، لأنه لا توجد متطلبات للتعاقب الشامل في الزمن. ولم يكن من الممكن حتى الآن توضيح انبثاق الزمكان التقليدي من هذه النظرية.

كان هناك نجاح أساسي واحد لنظرية المجموعة السببية، مع ذلك، وهو أنه يبدو أنها تحل مشكلة الثابت الكوني بأن تفترض ببساطة أن العالم التقليدي انبثق عن نظرية المجموعة السببية، وتنبأ عالم الفيزياء من جامعة سيراقوسة رافئيل د. سوركين Rafael D. Sorkin ومعاونوه أن الثابت الكوني قد يكون تقريبًا بالصغر الذي تم رصده حتى الآن. بقدر معرفتي، هذا هو الحل الكامل فقط حتى الآن لمشكلة الثابت الكوني. هذا الحل وحده، إضافة إلى جاذبية نظرية قائمة على مثل هذه الفرضيات البسيطة، يجعل برنامج البحث هذا مستحقًا للدعم الدائم.

أيضًا اقترح عالم الفيزياء الرياضي الإنجليزي روجر بينروز Roger Penrose مقاربة للزمكان الكمي تقوم على مبدأ أن ما يعتبر أساسيا حقًا هو العلاقات السببية. ويطلق على مقاربته نظرية الإعصار twistor. كان يعمل معه قلة من الأنصار على ذلك منذ الستينيات. وهي تقوم على عكس الطريقة العادية لرؤية الأحداث في الزمكان. تقليديًا، يرى المرء ما يحدث كأمر رئيسي والعلاقات بين ما يحدث كأمر ثانوي. بذلك تكون الأحداث حقيقية والعلاقات السببية بين الأحداث هي ببساطة خواص للأحداث. توصل بينروز إلى أن هذه الطريقة لرؤية الأشياء يمكن عكسها. يمكنك أخذ العمليات السببية الأولية كأساسية ثم تقوم بتعريف الأحداث قياسًا على التطابق بين العمليات السببية. بشكل أكثر تحديدًا، يمكنك إنشاء مكان جديد، يتكون من كل أشعة

الضوء في الزمكان. ويمكنك عندئذ ترجمة كل الفيزياء إلى مكان أشعة الضوء هذا. تكون النتيجة بنية بالغة الجمال إلى حد لا يصدق، وهي ما يطلق عليه بينروز المكان الإعصار.

لأول عشرين سنة بعد اقتراح بينروز لها، تطورت نظرية الإعصار بسرعة. وبطرق مدهشة وجميلة، أصبح من الممكن كتابة الكثير من المعادلات الأساسية للفيزياء قياسًا على المكان الإعصار. لقد بدا الأمر بالفعل كما لو أنك تستطيع رؤية أشعة الضوء باعتبارها شيئا أساسيا أكثر، مع المكان والزمان مجرد جانب من العلاقات بينها. كان هناك تقدم أيضًا في التوحيد، لأن المعادلات التي تصف الأنواع المختلفة من الجسيمات أخذت نفس الشكل البسيط عندما تمت كتابتها قياسًا على المكان الإعصار. وتحقق نظرية الإعصار جزئيًا فكرة أن الزمكان قد ينبثق من بنية أخرى. ويتضح أن أحداث الزمكان الخاص بنا هي أسطح معينة معلقة في المكان الإعصار. وهندسة الزمكان الخاص بنا تنبثق أيضًا من بنى المكان الإعصار.

لكن هناك مشاكل في ما يخص هذا التصور. المشكلة الأساسية هي أن المكان الإعصار يمكن فهمه فقط في غياب النظرية الكمية. وبينما يختلف المكان الإعصار جدًا عن الزمكان، فإنه بنية هندسية هادئة. لا يعرف أحد حتى الآن ما يمكن أن يكون عليه المكان الإعصار الكمي. سواء كانت نظرية الإعصار الكمية سيكون لها معنى، وسواء سينبثق الزمكان منها، هذا ما يجب أن يتضح.

كان مركز نظرية الإعصار في السبعينيات في أكسفورد، وكنت أحد الكثيرين الذين تم جذبهم لقضاء الوقت هناك. وجدت جوًا متهورًا، لا يختلف عن الجو الذي ظهر لاحقًا في مراكز نظرية الأوتار. كان بينروز يلقى إعجابًا عميقًا، كما سيكون حال إدوارد ويتين لاحقًا. قابلت علماء فيزياء وعلماء رياضيات شباب موهوبين إلى أقصى حد كانوا يعتقدون بعاطفة متقدة بصحة نظرية الإعصار. كان العديد منهم قد استمروا بارزين باعتبارهم علماء رياضيات.

قادت نظرية الإعصار بالتأكيد إلى تطورات مهمة في الرياضيات. لقد قدمت لنا فهمًا أعمق للعديد من معادلات الفيزياء الرئيسية، بما في ذلك المعادلات الأساسية لنظرية يانج–ميلز، وهي أساس النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات. قدمت لنا نظرية الإعصار أيضًا فهمًا عميقًا وجميلاً إلى حد مذهل لمجموعة معينة من حلول نظرية النسبية العامة لأينشتاين. ولقد تم تصوير هذه التبصرات بدرجة مهمة في العديد من التطورات المختلفة، بما في ذلك الجاذبية الكمية للأنشوطة loop quantum gravity.

لكن لم تزدهر نظرية الإعصار حتى الآن إلى مقاربة قابلة للتطبيق في الجاذبية الكمية – غالبًا لأنها لم تجد طريقًا إلى دمج أغلب النسبية العامة. ورغم ذلك، لم يستسلم بينروز وقلة من زملائه. وقلة من علماء نظرية الأوتار، يقودهم ويتين، بدأوا حديثًا العمل عليها، مضيفين للمكان الإعصار بعض من الطرق الجديدة جعلت الأمور تتحرك إلى الأمام بسرعة. ولا يبدو حتى الآن أن هذه المقاربة تساعد نظرية الإعصار على التطور إلى نظرية

كمية للجاذبية، لكنها أدت إلى ثورة في دراسة نظريات القياس – الدليل، لو أنه كانت هناك حاجة إلى أي دليل، أنه كان من الخطأ إهمال نظرية الإعصار كل هذا الوقت الطويل.

لم يكن روجر بينروز هو أول عالم رياضيات من الطراز الأول الذي يبتكر مقاربته الخاصة إلى الجاذبية الكمية. ربما أعظم عالم رياضيات يعيش الآن – وهو الأكثر غرابة – هو ألين كونيس Alain Connes، وهو ابن رئيس التحريين من مرسيليا وعمل أغلب حياته في باريس. أحب التحدث إلى ألين، ولا أفهم دائمًا كل ما يقوله، لكنني أظل مصابًا بالدوار، من كل من العمق الشديد لأفكاره وعبثية نكاته. (كانت تميل إلى التصنيف للبالغين حتى لو كانت عن الثقوب السوداء أو عن نسخ كالابي–ياو المزعجة). ذات مرة قاطع محاضرة مؤتمر حول علم الكون الكمي مصرًا على واجب تقديم الاحترام، وكان علينا أن نقف في كل مرة يذكر فيها الكون. لكن لو لم أكن أفهم دائمًا ألين، فإنه كان يفهمني دائمًا، فهو أحد هؤلاء الأشخاص الذين يفكرون بسرعة كبيرة لدرجة أنهم يكملون لك جملك ويحسنون بشكل لا مرد له ما كنت توشك على قوله. ورغم ذلك فهو على درجة كبيرة من الاسترخاء والثقة في النفس وفي أفكاره حتى إنه أقل من يُحتمل أن يكون منافسًا، ولديه حب للاستطلاع حقيقي تجاه أفكار الآخرين.

كان على مقاربة ألين للجاذبية الكمية أن تعود إلى الأسس وتبتكر رياضيات جديدة توحد تمامًا البنى الرياضية للهندسة والنظرية الكمية. تلك هي الرياضيات التي أشرت إليها في الفصل ١٤، والتي يطلق عليها الهندسة

غير التبادلية. "غير التبادلية" تشير إلى حقيقة أن الكميات في النظرية الكمية يتم تمثيلها بأشياء لا تتبدل: أي، AB لا تساوي BA. وعدم التبادلية للنظرية الكمية ترتبط عن قرب بحقيقة أنك لا يمكنك قياس موقع جسيم وكمية حركته في نفس الوقت. عندما لا يتم تبادل كميتين، لا يمكنك أن تعرف قيمتيهما في نفس الوقت. والآن، يبدو ذلك معاكسًا لجوهر الهندسة، التي تبدأ بصورة بصرية للسطح. ونفس القدرة على تشكيل صورة بصرية تتضمن تعريفًا كاملاً ومعرفة كاملة. لجعل نوع من الأشياء يشبه هندسة قائمة على أشياء لا يمكن معرفتها في نفس الوقت كان خطوة عميقة بالفعل. والمقنع في ذلك هو أنه يقدم توحيدًا جديدًا للعديد من مجالات الرياضيات، بينما يدفع نفسه إلى الأمام باعتباره رياضيات مناسبة للخطوة التالية في الفيزياء.

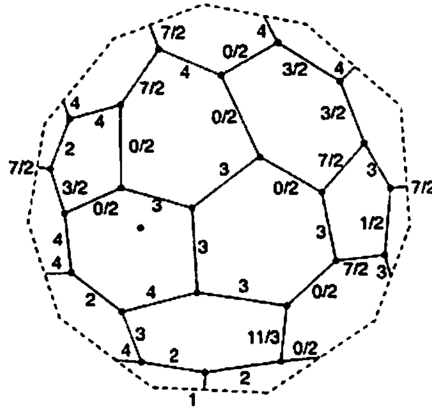
ظهرت الهندسة غير التبادلية في العديد من المقاربات للجاذبية الكمية، بما في ذلك نظرية الأوتار، وDSR، والجاذبية الكمية للأنشوطة. لكن أيا منها لم يصل إلى عمق المفهوم الأصلي لكونيس، الذي استمر هو وقلة من علماء الرياضيات، أغلبهم في فرنسا، في تطويره[ع]. الأنواع المختلفة منها التي ظهرت في برامج أخرى تقوم على أفكار مصطنعة، مثل جعل محوري المكان والزمن في كميات غير تبادلية. فكرة كونيس أكثر عمقًا، فهي توحيد في أسس الجبر والهندسة. لا يمكن أن تكون سوى ابتكار لشخص لا يستكشف فقط الرياضيات لكنه يفكر بشكل استراتيجي وابتكاري حول بنية المعرفة الرياضية ومستقبلها.

مثل علماء نظريات الإعصار، فإن القلة التي اكتسبها كونيس التزمت. بالنسبة لمؤتمر في جامعة بين ستيت حول المقاربات المختلفة للجاذبية الكمية، أوصى ألين بعالم فيزياء فرنسي مسن شهير اسمه دانيل كاستلر Daniel Kastler. كان الرجل النبيل قد كسرت ساقه في حادث دراجة هوائية قبل أسبوع من المؤتمر، لكنه تحرك بصعوبة إلى خارج المستشفى وقاد نفسه إلى مطار مرسيليا، ووصل في الوقت المناسب تمامًا لافتتاح الإجراءات بالبيان التالي: "هناك ألين واحد حقيقي، وأنا رسوله". ليس علماء نظرية الأوتار وحدهم هم الذين لديهم معتقداتهم الحقيقية، لكن علماء الهندسة غير التبادلية لديهم بالتأكيد حس فكاهة أفضل.

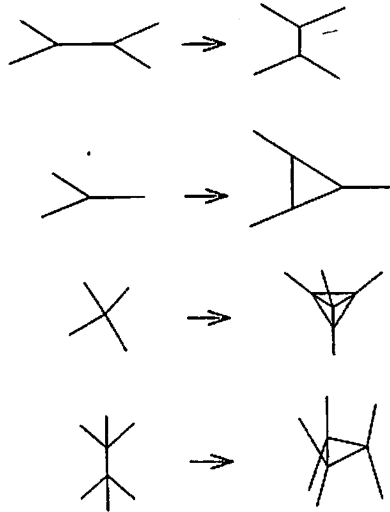
أحد نجاحات الهندسة غير التبادلية أنها قادت مباشرة إلى النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات. كما اكتشف ألين وزملاؤه، لو أنك أخذت نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية وكتبتها بأبسط الأنواع الممكنة من الهندسة غير التبادلية، يظهر فجأة نموذج وينبرج –سلام الذي يوحد الكهرومغناطيسية مع القوة النووية الضعيفة. بعبارة أخرى، تصبح التفاعلات الضعيفة، مع مجالات هيجز، واضحة تلقائيًا وبشكل صحيح.

تذكر من الفصل ٢ أن إحدى الطرق للقول بما إذا كان توحيد خاص ناجح هو أن يكون هناك على الفور شعور بأن الفكرة تتفق مع الطبيعة. حقيقة أن التوحيد الصحيح للقوة الضعيفة والكهرومغناطيسية الذي يحدث من النوع الأكثر بساطة من فكرة كونيس لهو أمر مقنع. إنه نوع الأشياء الذي كان يجب أن يحدث مع نظرية الأوتار لكنه لم يحدث.

هناك مجموعة أخرى من المقاربات تركز على كيفية ظهور الزمكان التقليدي وفيزياء الجسيمات من البنية المتميزة الأساسية. تلك نماذج طورها علماء فيزياء المادة الكثيفة، مثل روبرت لافلين، من ستانفورد، وجريجوري فولوفيك، من جامعة هلسنكي للتقنية، وتشيو-جانج وين Xiao –Gang Wen، من معهد مساشوسيتس للتقنية. وحديثًا استأنف هذه المقاربات شباب في الجاذبية الكمية، مثل أولاف دريير Olaf Dreyer. هذه النماذج أولية، لكنها توضح تلك الجوانب في النسبية الخاصة، مثل شمولية الحد الأقصى للسرعة، التي يمكن أن تظهر من أنواع معينة من النظم الكمية المتميزة. أحد التأكيدات الاستفزازية لفولفيك ودريير هو أن مشكلة الثابت الكوني تم حلها – لأنها لم تكن بالفعل مشكلة أبدًا في الأصل. يزعمان أن فكرة أنه كانت هناك مشكلة كان خطأ، نتيجة أخذ نظريات الاستقلال عن الخلفية مأخذًا جادًا إلى حد كبير. الخطأ، كما يقولان، يأتي من تقسيم متغيرات نظرية ما على انفراد ومعالجة بعض منها كخلفية متجمدة والأخرى كمجالات كمية(٦). لو كانا على حق في هذا الأمر، فإنها تكون النتيجة الأكثر أهمية التي تأتي من الجاذبية الكمية خلال سنوات كثيرة.



الشكل ١٥: شبكة غزل، وهي حالة هندسة كمية في جاذبية كمية للأنشوطة والنظريات المرتبطة بها. هناك كمات للحجم تصاحبها عقد وكمات للمساحة تصاحبها أطراف.



الشكل ١٦: شبكات غزل تتطور في الزمن خلال سلسلة من التغيرات المحلية مثل هذه.

كل المقاربات التي كنت أصفها مستقلة عن الخلفية. ويبدأ كثيرون بافتراض أن الزمكان يتكون من لبنات بناء مميزة. قد يفضل المرء أن يفعل ما هو أفضل لتوضيح أن تميز المكان والزمن هو نتيجة لوضع مبادئ النظرية الكمية والنظرية النسبية معًا. وهذا هو ما تنجزه الجاذبية الكمية للأنشوطة. وهي تفعل ذلك بالبدء بإعادة الصياغة الثورية لأشتيكار في ١٩٨٦ للنظرية النسبية العامة لأينشتاين. ما وجدناه كان أنه بدون مُدخل إضافي، ولكن فقط بإعادة كتابة نظرية أينشتاين قياسًا على مجموعة جديدة من المتغيرات، كان من الممكن استنتاج ماهية الزمكان الكمي بشكل دقيق.

الفكرة المهمة خلف الجاذبية لكمية للأنشوطة فكرة قديمة بالفعل، وهي التي ناقشناها بالفعل في الفصل ٧. إنها فكرة وصف مجال، مثل المجال الكهرومغناطيسي، مباشرة قياسًا بخطوط مجاله. (كلمة "أنشوطة loop" تأتي من حقيقة أنه، في غياب المادة، يمكن لخطوط المجال أن تقترب من نفسها، لتشكل أنشوطة). كانت هذه هي رؤية هولجر نلسين Holger Nielsen، وألكسندر بولياكوف، وكينيث ولسون، وكانت إحدى الأفكار التي أدت إلى نظرية الأوتار. من الناحية الأساسية، نظرية الأوتار هي تطور لهذه الفكرة المتبصرة في سياق خلفية ثابتة للمكان والزمن. الجاذبية الكمية للأنشوطة هي نفس الفكرة لكنها تطورت في نظرية مستقلة عن الخلفية تمامًا.

أصبح هذا العمل ممكنا بواسطة الاكتشاف العظيم لأشتيكار أن النسبية العامة يمكن التعبير عنها بلغة مثل لغة المجال القياسي. يتضح أن المقياس الأساسي للزمكان، من ثم، شيء يشبه المجال الكهربائي. عندما حاولنا معالجة خطوط مجال مناظرة بميكانيكا الكم، كنا مرغمين على معالجتها

بدون خلفية لأنه لم تكن هناك أية خلفية – خطوط المجال تصف بالفعل هندسة المكان. بمجرد أن جعلناها ميكانيكية كمية، لم تتبق أية هندسة تقليدية. لذلك كان علينا إعادة ابتكار نظرية مجال كمية لكي نعمل بدون مقياس أساسي للخلفية. لاختصار قصة طويلة، احتاج الأمر إلى مُدخل للكثير من الأشخاص، لهم تشكيلة من المهارات من الفيزياء والرياضيات، لكننا نجحنا. والنتيجة هي الجاذبية الكمية للأنشوطة.

التصور الناتج بسيط جدًا. الهندسة الكمية هي نوع معين من الرسم البياني (انظر الشكل ١٥). والزمكان الكمي هو تتالي أحداث يتطور خلالها الرسم البياني بتغيرات محلية في بنيته. من الأفضل تصوير ذلك بأمثلة، وهي الموضحة في الشكل ١٦.

أدت النظرية إلى نجاحات كثيرة. وتم إثبات أنها محدودة، بثلاثة معانٍ:

١- الهندسة الكمية محدودة، لذلك تأتي المساحات والأحجام في وحدات متميزة.

٢- عندما يتم حساب الاحتمالات لتطور هندسات كمية إلى تواريخ مختلفة، فإنها تأتي دائمًا محدودة (على الأقل في صيغة معينة لنظرية تسمى نموذج باريت–كران).

٣- عندما تتزاوج النظرية مع نظرية مادة، مثل النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات، فإن اللانهائيات التي تظهر عادة يتم جعلها محدودة من جديد: أي، بدون جاذبية، عليك عمل إجراء معين لعزل التعبيرات اللانهائية وجعلها غير ملحوظة، ومع الجاذبية، لا يكون هناك ببساطة أي تعبيرات لانهائية.

يجب التأكيد على أنه لا يوجد عدم يقين يصاحب العبارات السابقة. والنتائج الرئيسية للجاذبية الكمية للأنشوطة تم إثبات صحتها بفرضيات دقيقة جدًا.

التحدي الرئيسي الذي يواجه الجاذبية الكمية للأنشوطة من البداية كان تفسير كيفية انبثاق الزمكان التقليدي. في السنوات القليلة الماضية، كان هناك تقدم رئيسي في هذه المسألة، ويعود الفضل جزئيًا إلى ابتكار إجراءات تقريب جديدة. وهذا يوضح أن للنظرية حالات كمية تصف أكوانا، حيث الهندسة تقليدية، إلى درجة تقريب جيدة. ولقد تم اتخاذ خطوة مهمة في السنة الماضية بواسطة كارلو روفيلي Carlo Rovelli، من مركز الفيزياء النظرية في مرسيليا، وزملائه، حيث وجدوا دليلاً قويًا على أن الجاذبية الكمية للأنشوطة تتنبأ بأن كتلتين ستجذبان بعضهما بنفس الطريقة على وجه الدقة التي حددها نيوتن(٧). وتشير هذه النتائج أيضًا إلى أنه عند طاقات منخفضة يكون للنظرية جرافيتونات، لذلك فإن الجاذبية الكمية للأنشوطة هي بالفعل نظرية جاذبية.

يتم الآن بذل الكثير من الجهود في تطبيق الجاذبية الكمية للأنشوطة على ظواهر العالم الحقيقي. هناك وصف دقيق لآفاق الثقب الأسود الذي يجعل الإنتروبيا صحيحة. وتتفق هذه النتائج مع التنبؤات القديمة لبيكنشتاين وهاوكنج بأن للثقوب السوداء إنتروبيا ودرجة حرارة (انظر الفصل ٦). كما كتبت، أحد الموضوعات الرئيسية الساخنة للحديث بين خريجي الجامعات والأكاديميين هو التنبؤ بتعديلات لنتيجة هاوكنج للديناميكا الحرارية للثقوب

السوداء التي لو تم قياسها في دراسة مستقبلية لفيزياء الثقب الأسود، ستثبت صحة أو خطأ الجاذبية الكمية للأنشوطة.

كانت الجاذبية الكمية للأنشوطة أيضًا أساس نماذج تسمح بدراسة هندسات تغير الزمن بشدة داخل الثقوب السوداء. وأعطى الكثير من الحسابات دليلاً على أن المفردات داخل الثقوب السوداء تتحرك. بذلك يمكن للزمن الاستمرار خلف النقطة التي تنبأت النسبية العامة التقليدية عندها أنها يجب أن تنتهي. إلى أين تذهب؟ يبدو أنها تذهب إلى مناطق مبتكرة حديثًا للزمكان. يتم استبدال المفردة بما نطلق عليه زمكان الارتداد. فقط قبل الارتداد، كانت المادة داخل الثقب الأسود تتقلص. وفقط بعد الارتداد، فإنها تتمدد، لكن إلى منطقة جديدة لم تكن موجودة من قبل. هذه نتيجة مرُضية جدًا، حيث إنها تثبت صحة تأمل سابق لبرايس ديويت وجون أرشيبالد ويلير. نفس التقنية تم استخدامها لدراسة ما يحدث في كون مبكر جدًا. ومن جديد، وجد علماء النظريات دليلاً على أن المفردة تم التخلص منها، وهو ما قد يعني أن الكون وُجد قبل الانفجار الكبير.

التخلص من المفردة في الثقوب السوداء يعطي إجابة طبيعية عن تناقض معلومات الثقب الأسود لهاوكنج. كما ذُكر في الفصل ٦، لا يتم فقد المعلومات، وهي تذهب إلى منطقة جديدة من الزمكان.

السيطرة التي وهبتها لنا الجاذبية الكمية للأنشوطة على الكون المبكر جدًا جعلت من الممكن حساب تنبؤات للأرصاد الحقيقية. حديثًا استطاع

أكاديميان من معهد بيريميتر، هما ستيفان هوفمان Stefan Hofman وأوليفر وينكلر Oliver Winkler، استنتاج تنبؤات دقيقة لتأثيرات الجاذبية الكمية قد تشهد في المستقبل أرصادًا لخلفية مايكروويف كونية(٨).

علماء النظريات مشغولون أيضًا بمحاولة التنبؤ بما قد نراه في تجارب أوجير وGLAST، وكلاهما سيشير إلى ما إذا كانت النسبية الخاصة تتحطم عند طاقات بلانك. الميزة العظيمة لمقاربات الاستقلال عن الخلفية هي قدرتها على تقديم تنبؤات بمثل هذه التجارب. هل مبدأ نسبية أطر القصور الذاتي محفوظ أو ينهار؟ هل يتم تعديله، كما في نظريات DSR؟ كما أكدت، لا يمكن لأي نظرية مستقلة عن الخلفية أن تقدم تنبؤًا حقيقيًا لهذه التجارب، لأن السؤال تتم الإجابة عنه بالفعل باختيار خلفية. ونظرية الأوتار، بشكل خاص، تفترض أن نسبية أطر القصور الذاتي تظل صحيحة على الهيئة التي قدمها في الأصل أينشتاين في نظريته النسبية الخاصة. فقط يمكن لمقاربة مستقلة عن الخلفية تقديم تنبؤ عن مصير مبادئ النسبية الخاصة، لأن خواص الزمكان التقليدي تظهر باعتبارها حلاً لمشكلة ديناميكية.

تعد الجاذبية الكمية للأنشوطة أن يكون في استطاعتها تقديم تنبؤ مؤكد. في النماذج التي يكون فيها للمكان بعدين، أنجزت هذا بالفعل: حتى الوقت الحديث، نظن أن الجاذبية الكمية للأنشوطة لديها القليل لتقوله حول المشاكل أكثر من الجاذبية الكمية. يمكننا وضع المادة في النظرية ولن تتغير النتائج الجيدة. لو أننا أردنا، يمكننا وضع النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات بالكامل – أو أي نموذج آخر لفيزياء الجسيمات نرغب في دراسته – لكننا لا

نظن أن الجاذبية الكمية للأنشوطة لديها أي شيء خاص تساهم به في مشكلة التوحيد. منذ وقت قريب أدركنا أننا كنا مخطئين في ذلك. لدى الجاذبية الكمية للأنشوطة بالفعل جسيمات أولية فيها، وتقترح نتائج معاصرة أن هذه هي بالضبط فيزياء الجسيمات الصحيحة: النموذج المعياري.

في العام الماضي، اقترحت فوتيني ماركبولو طريقة جديدة كمقاربة لمشكلة كيفية ظهور هندسة المكان من نظرية أساسية أكثر. وماركبولو عالمة فيزياء شابة تعمل على الجاذبية الكمية وتدهشني غالبًا بأفكار غير مرجحة يتضح أنها صحيحة، وكان هذا من أحد أفضل أعمالها. أفضل من السؤال مباشرة عن ما إذا كانت هندسة الزمكان الكمي أو لم يكن في استطاعتها الانبثاق لزمكان تقليدي، اقترحت ماركبولو مقاربة مختلفة، تقوم على تحديد ودراسة حركة الجسيمات في هندسة كمية. كانت فكرتها أن أي جسيم لا بد أنه نوع من الإثارة المنبثقة من هندسة كمية، ينتقل خلال هذه الهندسة تشبه إلى حد كبير موجة تنتقل خلال مادة صلبة أو سائلة. مع ذلك، لإعادة إنتاج الفيزياء التي نعرفها، يجب وصف هذه الجسيمات المنبثقة لجسيمات كمية تمامًا، متجاهلين الهندسة الكمية التي تنتقل خلالها[٩].

عادة عندما يكون أي جسيم في تفاعل مع البيئة، تتشتت المعلومات عن حالته في البيئة – نقول إنه يعطل تماسكه. من الصعب منع تعطيل التماسك هذا من الحدوث، وهذا، بالمناسبة، هو سبب صعوبة صناعة حاسب كمي، تعتمد فعاليته على أن يكون الجسيم في حالة كمية كاملة. لدى من يصنعون الحاسبات الكمية أفكار عن متى ستظل منظومة كمية نقية حتى لو تماست مع

البيئة. بينما كانت تعمل مع خبراء في هذا المجال، أدركت ماركوولو أن تبصراتهم تنطبق على مشاكل كيفية انبثاق جسيم كمي من زمكان كمي. وأشارت إلى أنه للحصول على تنبؤات من نظريات الجاذبية الكمية، يمكنك تحديد مثل هذا الجسيم الكمي وتوضيح حركته كما لو أنها في مكان عادي. في المقارنة التي قدمتها، البيئة زمكان كمي، وهي، لكونها ديناميكية، تتغير باستمرار. يجب أن يتحرك الجسيم الكمي خلالها كما لو أنه كان خلفية ثابتة غير ديناميكية.

باستخدام هذه الأفكار، استطاعت ماركبولو ومعاونوها توضيح أن بعض النظريات المستقلة عن الخلفية للجاذبية الكمية لها جسيمات منبثقة. لكن ما هذه الجسيمات؟ وهل تطابق أي شيء آخر تم رصده؟

بدت المشكلة صعبة في البداية، لأن الهندسات الكمية التي تنبأت بها الجاذبية الكمية للأنشوطة معقدة جدًا. يصاحب حالات الجسيم رسومات بيانية مرسومة في مكان ثلاثي الأبعاد. المكان خلفية، لكن ليس له خواص سوى للطوبولوجيا الخاصة به، وتأتي كل المعلومات عن مقاييس الهندسة – مثل الأطوال، والمساحات، والأحجام – من الرسومات البيانية. لكن لأنه يجب رسم الرسومات البيانية في المكان، يكون للنظرية الكثير من المعلومات الإضافية يبدو أن لا علاقة لها بالهندسة. ويعود هذا إلى العدد اللانهائي لطرق ربط الأطراف في الرسومات البيانية على هيئة عقد، ووصلات وضفائر في مكان له ثلاثة أبعاد.

ما أهمية الربط على هيئة عقد، ووصلات وضفائر في الرسومات البيانية؟ يصاحبنا هذا السؤال منذ نحو ١٩٨٨. طوال هذا الوقت، لم تكن لدينا فكرة عن معنى الربط على هيئة عقد، ووصلات وضفائر. ورأت ماركبولو أن هذه الجسيمات المنبثقة مشفرة في هذه البنى الطوبولوجية.

في الربيع الماضي، حدث إنني رأيت مطبوعة لعالم فيزياء جسيمات أسترالي شاب اسمه ساندانس أ. بيلسون-تومسون Sundance O. Bilson-Thompson. فيها مثّل تضفيرًا بسيطًا لأشرطة قماش استحوذت بصورة بارعة تمامًا وبشكل دقيق على بنية نماذج البريون لفيزياء الجسيمات التي ناقشتها في الفصل ٥. (تتذكر أن هذه النماذج تفترض الجسيمات الافتراضية التي يطلق عليها بريونات كمكونات أساسية للبروتونات، والنيوترونات، والجسيمات الأخرى التي يعتبرها النموذج المعياري أولية). في هذا النموذج، البريون شريط قماش تم طيه إلى اليسار، أو اليمين، أو لم يطو على أي حال. يمكن تضفير ثلاثة أشرطة معًا، وتناظر الطرق المختلفة لفعل ذلك على وجه الدقة الجسيمات المختلفة للنموذج المعياري[١٠].

بمجرد أن قرأت البحث، عرفت أن تلك كانت الفكرة المفقودة، لأن الضفائر التي درسها بيلسون-تومسون يمكن أن تحدث كلها في الجاذبية الكمية للأنشوطة. وكان هذا يعني أن الطرق المختلفة للتضفير وعمل العقد للأطراف في الرسومات البيانية في زمكان كمي يجب أن تكون أنواع مختلفة من الجسيمات الأولية. لذلك فإن الجاذبية الكمية للأنشوطة ليست فقط عن الزمكان الكمي – لها بالفعل فيزياء جسيمات أولية فيه. ولو استطعنا

اكتشاف خطة بيسون -تومسون التي تؤثر على وجه الدقة في النظرية، قد يكون لها فيزياء الجسيمات الأولية الصحيحة. سألت ماركبولو حول ما إذا كانت ضفائره هي الإثارات المتماسكة لديها. دعونا بيلسون – تومسون للتعاون معنا، وبعد عدة بدايات خاطئة رأينا أن المجادلة صحيحة حتى النهاية. بتقديم بعض الافتراضات المعتدلة، وجدنا نموذج بريون يصف أبسط هذه الحالات التي تشبه الجسيمات في نوع من نظريات الجاذبية الكمية[١١].

تطرح هذه النتيجة الكثير من الأسئلة، والإجابة عنها هي هدف أولي. من المبكر جدا القول بأنها ستعمل بشكل جيد بما فيه الكفاية لإعطاء تنبؤات غير مبهمة للتجارب المقبلة في هادرون التصادم الكبير في سيرن. لكن أمرا واحدا واضح. لم تعد نظرية الأوتار هي المقاربة الوحيدة للجاذبية الكمية التي توحد أيضًا الجسيمات الأولية. تقترح نتائج ماركبولو أن الكثير من نظريات الجاذبية الكمية المستقلة عن الخلفية فيها جسيمات أولية كحالات منبثقة. ولا تؤدي نظرية معينة إلى مشهد هائل من النظريات الممكنة. والأحرى، أنها توضح وعدًا بأن تؤدي إلى تنبؤات فريدة، إما تتسق مع التجربة أو لا تتسق. الأكثر أهمية، أن هذا يتجنب الحاجة إلى تنقيح المنهج العلمي باللجوء إلى مبدأ أنتروبي، كما دافع ليونارد ساسكايند وآخرون (انظر الفصل ١١). العلم على الطريقة قديمة الطراز يتقدم إلى الأمام.

بوضوح، هناك مقاربات مختلفة للمشاكل الخمس الرئيسية في الفيزياء. يتقدم مجال الفيزياء الأساسية في ما وراء نظرية الأوتار بسرعة، وفي اتجاهات مختلفة، متضمنا التثليث الديناميكي السببي والجاذبية الكمية

للأنشوطة اللذين لا يضعان له الحدود. كما في أي مجال سليم في العلم، هناك التفاعل النشط مع التجربة والرياضيات. بينما لا يوجد الكثير من هؤلاء الأشخاص (ربما مائتان، جمعًا وعدًا) في برامج الأبحاث هذه مثل من يوجدون في نظرية الأوتار، لا تزال الحاجة إلى الكثير جدًا من الأشخاص ليعالجوا المشاكل الرئيسية في تخوم العلم. القفزات الكبيرة في القرن العشرين قامت بها قلة قليلة جدًا. وعندما تعلق الأمر بتثوير العلم، كان المهم نوعية التفكير، وليس كمية المؤمنين به حقًا.

أريد أن أكون واضحًا، رغم أنه لا يوجد ما هو جديد في هذا الجو ما بعد الأوتار الذي يستثني دراسة نظرية الأوتار وحدها. الفكرة التي تقوم عليها – ازدواجية المجالات والأوتار – مشتركة، كما أشرت، مع الجاذبية الكمية للأنشوطة. ما أدى إلى الأزمة الحالية في الفيزياء ليس هذه الفكرة الجوهرية ولكن نوعا خاصا من تحققها، يتحقق في سياق اعتماد على الخلفية– سياق يربطها بالاقتراحات المحفوفة بالمخاطر مثل التماثل الفائق والأبعاد الأعلى. ليس هناك سبب في ألا تكون مقاربة مختلفة لنظرية الأوتار – مقاربة أخرى تتناغم مع القضايا التأسيسية مثل الاستقلال عن الخلفية ومشاكل النظرية الكمية – جزءا من القصة النهائية. لكن للكشف عن حقيقة ذلك، تحتاج نظرية الأوتار إلى تطويرها في جو صريح، حيث تعتبر إحدى الأفكار من بين أفكار كثيرة، بدون أي فروض مسبقة بنجاحها أو فشلها النهائيين. ما لن يتسامح مع الروح الجديدة للفيزياء هو الافتراض المسبق بأن فكرة واحدة يجب أن تنجح، أيًا كانت الأدلة.

بينما يوجد اليوم شعور مثير للتقدم بين علماء فيزياء الجاذبية الكمية، هناك أيضًا توقع قوي بأن الطريق أمامنا سوف يقدم على الأقل بضع مفاجآت. في ما لا يشبه علماء نظرية الأوتار في أيام بهجة ثورتي الأوتار الفائقة، تعتقد قلة ممن يعملون على الجاذبية الكمية أنهم وضعوا أيديهم على النظرية النهائية. ندرك أن إنجازات المقاربات المستقلة عن الخلفية للجاذبية الكمية هي خطوة ضرورية لإنهاء ثورة أينشتاين. لقد أوضحوا أنه يمكن أن تكون هناك لغة رياضية متسقة توحد النظرية الكمية مع النسبية العامة. يعطينا هذا شيئا لم تعطه لنا نظرية الأوتار، وهو إطار ممكن تتم من خلاله صياغة نظرية تحل المشاكل الخمس التي أوردتها في الفصل ١. لكننا أيضًا متأكدون إلى حد ما من أنه ليس لدينا بعد كل القطع المطلوبة. حتى مع النجاح الحالي، ليس لأية فكرة بعد رنة الصدق المطلق.

عندما تعود للنظر في تاريخ الفيزياء، يبرز أمر واحد: عندما يتم في النهاية اقتراح صحة النظرية، فإنها تنتصر بسرعة. تظهر بضع أفكار جيدة حقًا على هيئة مقنعة، وبسيطة، وفريدة، ولا تأتي ومعها قائمة اختيارات أو سمات قابلة للتعديل. يتم تعريف ميكانيكا نيوتن بثلاثة قوانين بسيطة، الجاذبية النيوتنية بصيغة بسيطة بثابت واحد. كانت النسبية الخاصة كاملة عند وصولها. ولعل الأمر قد احتاج إلى خمس وعشرين سنة للصياغة الكاملة لميكانيكا الكم، لكن تم تطويرها منذ البداية في توافق مع التجربة. كان الكثير من الأبحاث في الموضوع من ١٩٠٠. إما تشرح نتيجة تجريبية حديثة أو تقدم تنبؤًا معينًا لتجربة ما تم إجراؤها بعد ذلك بقليل. ونفس الأمر صحيح بالنسبة للنسبية العامة.

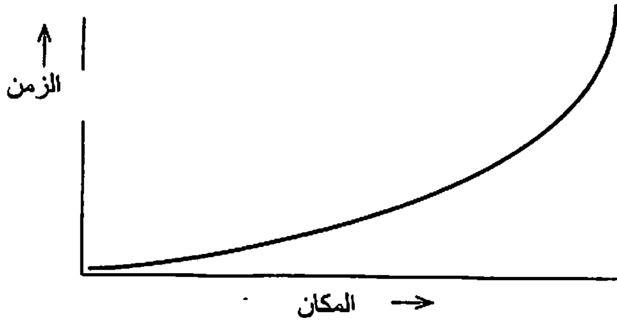
بناءً على ذلك، كان لكل النظريات التي انتصرت توابع للتجربة كان من السهل إنجازها ويمكن اختبارها خلال بضع سنوات. لا يعني هذا أن النظريات يمكن حلها بالضبط – أغلب النظريات لا يحدث لها ذلك. لكنه يعني أن التبصر الفيزيائي يؤدي على الفور إلى تنبؤ بتأثير فيزيائي جديد.

كل ما يمكن قوله أيضًا عن نظرية الأوتار، والجاذبية الكمية للأنشوطة، والمقاربات الأخرى، أنه لم يتم توصيلها إلى هذه الصدارة. كان العذر النموذجي أن التجارب على هذا المقياس من المستحيل إجراؤها – لكن، كما رأينا، ليست هذه هي الحالة. لذلك يجب أن يكون هناك سبب آخر. أعتقد أن هناك ما هو أساسي نفتقده جميعًا، افتراض خاطئ ما نقدمه كلنا. لو أن الأمر كذلك، عندئذ نكون في حاجة إلى عزل الافتراض الخاطئ واستبداله بفكرة جديدة.

ما الذي يمكن أن يكون هو هذا الافتراض الخاطئ؟ تخميني هو أنه يتضمن شيئين: أسس ميكانيكا الكم وطبيعة الزمن. لقد ناقشنا الأول بالفعل، وأجد من المثير للأمل أنه تم حديثًا اقتراح أفكار جديدة عن ميكانيكا الكم، حفزتها دراسات الجاذبية الكمية. لكنني أشك بقوة في أن المهم هو الزمن. أكثر فأكثر، ينتابني الشعور بأن نظرية الكم والنسبية العامة كلتيهما على خطأ عميق في ما يخص طبيعة الزمن. لا يكفي توحيدهما. هناك مشكلة أعمق، ربما تعود إلى أصل الفيزياء.

في بداية القرن السابع عشر تقريبًا، توصل ديكارت وجاليليو إلى الاكتشاف الأكثر إثارة للدهشة: يمكنك رسم شكل بياني، بمحور هو المكان

والآخر هو الزمن. وتصبح الحركة خلال المكان منحنى على الرسم البياني (انظر الشكل ١٧). بهذه الطريقة، يتمثل الزمن كما لو أنه بعد آخر في المكان. تتوقف الحركة، فنحصل على تاريخ كامل لحركة ثابتة وتغير كشيء ساكن لا يتغير. لو كان عليّ التخمين (والتخمين هو ما أفعله للحياة)، فإن هذا هو مشهد الجريمة.



الشكل ١٧: منذ ديكارت وجاليليو، تم تمثيل أي عملية تتطور مع الزمن كمنحنى على رسم بياني، ببعد إضافي يمثل الزمن. جعل الزمن "كمكان" مفيدا لكنه تحديًا لأنه يمثل عالم ساكن ولا يتغير - مجموعة متجمدة، أبدية من العلاقات الرياضية.

علينا أن نعثر على طريقة لفك تجمد الزمن – لتمثيل الزمن بدون تحويله إلى مكان. ليست لديّ فكرة عن كيفية عمل ذلك. لا يمكنني استيعاب رياضيات لا تمثل العالم كما لو أنه متجمد في الأبدية. من الصعب جدًا تمثيل الزمن، وهذا هو سبب أن هناك فرصة جيدة في أن يكون هذا التمثيل قطعة مفقودة.

أمر واحد واضح: لا يمكنني الذهاب إلى أي مكان وأنا أفكر في هذا النوع من المشكلة في حدود نظرية الأوتار. حيث إن نظرية الأوتار محدودة بوصف الأوتار والبرانات وهي تتحرك في هندسات زمكان ذات خلفية ثابتة، لا يقدم هذا أي شيء لمن يرغب في فتح باب جديد وهو يفكر في طبيعة الزمن أو نظرية الكم. تقدم مقاربات الاستقلال عن الخلفية نقطة بداية أفضل، لأنها قد تجاوزت بالفعل التصور التقليدي عن المكان والزمن. ومن السهل تعريفها ومن السهل معالجتها. هناك إكرامية إضافية، وهي أن الرياضيات المتضمنة تقترب من تلك التي استخدمها القليل من علماء الرياضيات لاستكشاف الأفكار الجذرية حول طبيعة الزمن – وهو مجال في المنطق يسمى نظرية المحاكاة topos theory.

أحد الأمور التي أعرفها عن السؤال حول كيفية تمثيل الزمن بدون تحوله إلى بعد للمكان هو أنه يرد ذكره في مجالات أخرى، من البيولوجيا النظرية إلى علم الحاسب. في جهد لإطلاق بعض الأفكار بحرية، نظمت أنا والفيلسوف روبرتو مانجابيرا أنجر Roberto Mangabeira Unger حديثًا ورشة صغيرة في بيريميتر لجمع تبصرات في كل من هذه المجالات للحديث عنها. وهذان اليومان كان الأكثر إثارة التي قضيتها خلال سنوات[١٢].

لن أقول المزيد حول ذلك، لأنني أرغب في الانتقال إلى مسألة مختلفة. افترض شخصًا شابًا طموحا ثقافيًا بعقل أصيل وضجر يريد التفكير بعمق في الأسئلة الخمسة الكبيرة. باعتبار فشلنا في الحل الحاسم لأي منها، لا أتخيل سبب أن يرغب مثل هذا الشخص في أن يكون محدودًا بالعمل في أي من برامج البحث الراهنة. من الواضح، أنه لو كانت نظرية الأوتار أو الجاذبية الكمية للأنشوطة هي في حد ذاتها الإجابة، لكنا قد عرفنا ذلك قبل الآن. قد يكونان نقطة بداية، وقد يكونان جزأين من الإجابة، وقد يحتويان بالضرورة على دروس. لكن النظرية الصحيحة يجب أن تحتوي على عناصر جديدة، ربما يكون هذا الشاب الطموح مؤهلاً للبحث فيها.

ما الذي أورثه جيلي لهؤلاء العلماء الشباب؟ أفكار وتقنيات قد يرغبون أو لا يرغبون في استخدامها، مع حكاية تحذيرية عن نجاح جزئي في عدة اتجاهات، كانت نتيجته فشلاً عامًا في إنهاء العمل الذي بدأه أينشتاين منذ مائة عام. قد يكون أسوأ ما نفعله هو إعاقة تقدمهم بالإصرار على أن يعملوا على أفكارنا. لذلك فإن السؤال للجزء الأخير من الكتاب هو السؤال الذي أطرحه على نفسي كل صباح: هل نفعل كل ما في استطاعتنا لدعم وتشجيع العلماء الشباب – استنادًا إلى ذلك، أنفسنا – لتجاوز ما فعلناه في السنوات الثلاثين الماضية ولنجد النظرية الصحيحة التي تحل المشاكل الخمس الكبيرة في الفيزياء؟

الجزء الرابع

التعلم من التجربة

١٦

كيف تحارب علم الاجتماع؟

في هذا الجزء الأخير من الكتاب، أرغب في العودة إلى الأسئلة التي طرحتها في المقدمة. لماذا، رغم الكثير من الجهد الذي بذله آلاف من العلماء الأكثر موهبة والمدربين جيدًا، أحرزت الفيزياء الأساسية هذا التقدم المحدود بالغ الصغر خلال الخمس والعشرين سنة الماضية؟ ومع معرفة أن هناك اتجاهات جديدة واعدة، ما الذي يمكننا فعله لضمان أن معدل التقدم تمت إعادته إلى ما كان عليه لقرنين قبل ١٩٨٠؟

إحدى طرق وصف مشكلة الفيزياء هو القول بأنه لم يكن هناك أي عمل في فيزياء الجسيمات الأولية طوال العقود الثلاثة الماضية يراهن عليه لنيل جائزة نوبل. السبب هو أن من شروط الجائزة أن يتم مراجعة التقدم بواسطة التجربة. بالطبع، قد تتضح صحة أفكار مثل التماثل الفائق أو التضخم بواسطة التجربة، وإذا كانت كذلك، سيستحق مبتكروها جوائز نوبل. لكننا لا نستطيع أن نقول الآن إن اكتشاف أي فرضية حول الفيزياء في ما وراء النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات تم التأكد من صحته.

كان الموقف مختلفا تمامًا عندما دخلت كلية الدراسات العليا في ١٩٧٦. كان من الواضح إلى درجة كبيرة أن النموذج المعياري، الذي اتخذ شكله النهائي قبل ثلاث سنوات فقط، كان تقدمًا حاسمًا. كان هناك بالفعل إثبات تجريبي حقيقي لهِ وكان المزيد في الطريق. لم يكن هناك شك جاد في أن مبتكريه سيحصلون إن آجلاً أو عاجلاً على جوائز نوبل عن أعمالهم. ولقد حصلوا عليها أخيرًا.

لا شيء يشبه ذلك الآن. هناك الكثيرون الذين فازوا بالجوائز على أعمالهم في فيزياء الجسيمات الأولية في السنوات الخمس والعشرين السابقة، ولكن ليس جائزة نوبل. لا يتم إعطاؤك جائزة نوبل لأنك ذكي أو ناجح، ويتم إعطاؤها لأنك على حق.

وليس هذا لإنكار أنه كان هناك تطورات تقنية في كلٍ من برامج الأبحاث. يُقال إن هناك المزيد من العلماء يعملون الآن أكثر منهم في مجمل تاريخ العلم. هذا صحيح بالتأكيد بالنسبة للفيزياء، قد يكون هناك بروفيسورات في الفيزياء في قسم جامعة كبيرة الآن أكثر ممن كانوا في كل أوروبا منذ مائة سنة مضت، حيث تم إنجاز كل التطورات تقريبًا. كل هؤلاء الأشخاص يعملون، وأغلب العمل يعتبر معقد للغاية من الناحية التقنية. ويضاف إلى ذلك، أن المستوى التقني لعلماء الفيزياء النظريين الشبان أكثر ارتفاعًا الآن مما كان عليه جيل مضى أو جيلان. هناك المزيد لكي يبرع فيه الأشخاص الشباب، ويمكنهم فعل ذلك.

رغم ذلك، لو أننا حكمنا بمعايير السنوات المائتين قبل ١٩٨٠، يبدو أن سرعة التقدم غير القابل للانعكاس في نظرية الجسيمات الأولية تباطأت.

لقد ناقشنا بالفعل التفسيرات السهلة لفشل السنوات الخمس والعشرين الأخيرة. لا يعود الأمر إلى نقص في البيانات، فهناك الكثير من النتائج التي تم تفسيرها لإثارة خيالات علماء النظرية. وليست هذه النظريات التي تستغرق وقتًا طويلاً لكي يتم اختبارها، كان من النادر أن يكون هناك أكثر من عقد بين تنبؤ لنظرية جديدة بظواهر جديدة وإثبات صحة هذا التنبؤ. وليس الأمر نقصًا في الجهد، فالكثير من الأشخاص يعملون الآن على مشاكل في الفيزياء الأساسية أكثر ممن عملوا خلال مجمل تاريخ هذا الموضوع مجتمعًا. ولا يمكن بالتأكيد وضع اللوم على قلة المواهب.

في الفصول السابقة، افترضت أن ما فشل لم يكن نظرية معينة بقدر ما كان أسلوبا خاصا للبحث. لو استغرق شخص وقتًا في كل من جماعة علماء نظرية الأوتار وجماعة من الأشخاص العاملين على مقاربات مستقلة عن الخلفية للجاذبية الكمية، لن يمكنه سوى الاصطدام بالاختلاف الكبير في الأسلوب وفي القيم التي يتم التعبير عنها بواسطة الجماعتين. تعكس هذه الاختلافات انقسامًا في الفيزياء النظرية تعود إلى أكثر من نصف قرن.

أسلوب عالم الجاذبية الكمية موروث من ما يسمى عادة بجماعة النسبية. وقاد ذلك طلاب ومساعدون لأينشتاين، ولطلابهم بدورهم – أشخاص مثل بيتر بيرجمان Peter Bergmann، وجوشوا جولدبرج Jashua Goldberg،

وجون أرشيبالد ويلر John Archibald Wheeler. كانت القيم الجوهرية لهذه الجماعة احترام الأفكار الفردية وبرامج الأبحاث، والارتياب في الموضة، والاعتماد على الحجج الرياضية الواضحة، والاقتناع بأن المشاكل المهمة ترتبط عن قرب بالقضايا التأسيسية حول طبيعة المكان، والزمن والكمات.

من جانب آخر، فإن أسلوب جماعة نظرية الأوتار، هو استئناف ثقافة نظرية الجسيمات الأولية. كان هذا دائمًا جوا أكثر اندفاعًا، وعدوانية، وتنافسًا، حيث يكافح علماء النظريات للاستجابة السريعة للتطورات الجديدة (قبل ١٩٨٠، كانت تجريبية عادة) وكانوا يرتابون في القضايا الفلسفية. ولقد حل هذا الأسلوب محل الأسلوب الأكثر تأملاً وفلسفة الذي ميز أينشتاين ومبتكري نظرية الكم، والذي انتصر مع انتقال مركز العلم إلى أمريكا وانتقال التركيز الثقافي من استكشاف النظريات الجديدة الأساسية إلى تطبيقها.

يحتاج العلم إلى أساليب مختلفة، لكي يواجه الأنواع المختلفة من المشاكل. فرضيتي أن ما هو خطأ في نظرية الأوتار أنه تم تطويرها باستخدام أسلوب الأبحاث في فيزياء الجسيمات الأولية، وهي لا تتناسب بشكل جيد مع اكتشاف أطر نظرية جديدة. الأسلوب الذي أدى إلى نجاح للنموذج المعيار من الصعب أيضًا الإبقاء عليه عندما ينفصل عن التجربة. هذا الأسلوب التنافسي والذي تقوده الموضة نجح عندما تزود بالاكتشافات التجريبية لكنه فشل عندما لم يكن هناك شيء يقود الموضة سوى آراء واختبارات قلة من الأفراد البارزين.

عندما بدأت في دراساتي عن الفيزياء، في وسط السبعينيات، كان كل من هذين الأسلوبين سليمًا. كان هناك المزيد من علماء فيزياء الجسيمات الأولية أكثر من علماء النسبية، لكن كان هناك مكان لكل منهما. لم يكن هناك الكثير من الأماكن للأشخاص الذين يرغبون في تطوير حلولهم الخاصة للقضايا التأسيسية العميقة حول المكان، والزمن والكمات، لكن كان هناك ما يكفي لدعم القلة التي لديها أفكار جيدة. منذ ذلك الوقت، بينما نمت الحاجة إلى أسلوب علماء النسبية، كانت مكانتهم في المجتمع الأكاديمي قد تقلصت، بسبب هيمنة نظرية الأوتار وبرامج الأبحاث الكبرى الأخرى. باستثناء جماعة أبحاث وحيدة في جامعة بنسيلفانيا ستيت، لم يتم توظيف أي مساعد بروفيسور يعمل على مقاربة للجاذبية الكمية لا تقوم على نظرية أوتار أو أبعاد أعلى، من قِبل جامعة أبحاث أمريكية منذ نحو ١٩٩٠.

لماذا حدث أن هيمن الأسلوب الأقل مناسبة للمشكلة التي تتم معالجتها على الفيزياء، هنا وفي الخارج؟ هذا سؤال اجتماعي، لكنه سؤال علينا أن نجيب عنه لو كان علينا تقديم اقتراحات بناءة لإعادة فرعنا العلمي إلى قدرته السابقة.

لوضع المشكلة في سياق، علينا النظر في بعض التغيرات النافذة في المشهد الأكاديمي الذي يجب على الشخص الشاب أن يتفاوض معه لكي يتابع مهنة في العلم.

التغير الأكثر إثارة للصدمة هو أن هناك الكثير جدًا من الضغط على الشباب لكي يتنافسوا من أجل احترام العلماء الأكبر سنًا أصحاب السلطة. الجيل العظيم الذي أنجز العلم الأمريكي، والذي يقترب الآن من التقاعد، لعله كان عليه أن يتنافس من أجل مواقع قمة في جامعات ومعاهد الصفوة، لكن لم يكن هناك الكثير من الضغط لو كان كل ما تريده مرتبة بروفيسور في مكان ما يعطيك حرية متابعة عملك. من الأربعينيات إلى السبعينيات، كان نمو الجامعات أسيًا، وكان من الشائع بالنسبة للعلماء الشباب أن يتوافر لهم عدة عروض لمواقع في هيئة التدريس في جامعات فوق الدراسات العليا. ولقد قابلت أكثر من زميل واحد أكبر سنًا لم يحدث أبدًا ولو لمرة واحدة أن ملأ استمارات للحصول على وظيفة.

الأمور تختلف الآن. كفت الجامعات عن النمو في بداية السبعينيات، ورغم ذلك استمر البروفيسورات الذين تم توظيفهم في الفترات السابقة في تدريب طلاب الدراسات العليا بمعدل ثابت، وهو ما يعني أن هناك فرط إنتاج في درجات دكتوراه الفلسفة في الفيزياء والعلوم الأخرى. نتيجة لذلك، هناك تنافس شرس لمواقع في الجامعات والكليات على كل مستويات التسلسل الهرمي الأكاديمي. هناك أيضًا الكثير جدًا من التشديد على توظيف هيئة يتم تمويلها بواسطة وكالات الأبحاث. ضيق هذا إلى حد كبير اختيارات الأشخاص الذين يرغبون في متابعة برامج أبحاثهم الخاصة أكثر من اتباع تلك التي بدأها علماء أكبر سنًا. لذلك هناك زوايا أقل يمكن للشخص المبدع أن يختفي فيها، آمنًا في نوع من العمل الأكاديمي، ويتابع الأفكار الأصيلة ذات المخاطر.

يرتبط بذلك حقيقة أن الجامعات أصبحت الآن أكثر احترافية بكثير أكثر مما كانت عليه منذ جيل أو جيلين. بينما كفت قدرات الجامعة عن النمو، كانت هناك زيادة ملحوظة في عدد وقوة المديرين. هكذا، في التوظيف، هناك اعتماد أقل على حكم البروفيسور الفرد والاعتماد أكثر على المقاييس الإحصائية للإنجاز، مثل مستويات التمويل واستحقاقات الجدارة. هذا أيضًا يجعل الأمر أكثر صعوبة أمام العلماء الشباب لمقاومة الاتجاه السائد ولتكريس أنفسهم لابتكار برامج أبحاث جديدة.

في محاولتنا لإنجاز تقييمات غير متحيزة لعمل أندادنا، نميل نحن البروفيسورات تقريبًا بشكل تلقائي إلى مكافأة أولئك الذين يتفقون معنا ومعاقبة أولئك الذين لا يتفقون معنا. حتى عندما نتعالى عن السياسات الأكاديمية، نسقط غالبًا في فخ تقييم العلماء الزملاء على أساس تمييزات ذات بعد واحد. في اجتماعات الكلية والمناقشات غير الرسمية، نتحدث عن من هو "جيد" ومن ليس كذلك، كما لو أننا نعرف بالفعل ما يعنيه ذلك. هل يمكن تقليص عمل حياة شخص ما إلى "ليست أنجيلا جيدة مثل كريس"؟ يبدو ذلك غالبًا كما لو أن الإنجازات لا تتطلب ما هو أكثر من الذكاء ويتم تقييم العمل الشاق بدرجة أعلى من سبر الفكر أو الخيال. البدع الثقافية أكثر أهمية بكثير، وأولئك الذين يتجاهلونها تكون وظائفهم الأكاديمية محفوفة بالمخاطر.

عملت ذات مرة على مشروع مع لواء متقاعد كان قد ترأس كلية ضباط عسكريين ثم أصبح مستشارًا في مجال الأعمال. تحدث عن إحباطاته وهو يحاول العمل مع الجامعات. سألته عن معرفته بالمشكلة التي واجهها.

قال، "هناك أمر بسيط لكنه جوهري نعلمه لكل ضابط بحري، أن مدير الجامعة الذي قابلته يبدو عليه أنه يعرف: هناك اختلاف كبير بين الإدارة والقيادة. يمكنك إدارة تدبير البضائع، لكن عليك أن تقود الجنود في المعركة". وافقته. في زمني في الجامعات، رأيت الكثير من الإدارة أكثر من القيادة.

ليست المشكلة بالطبع مقصورة على العلم. سرعة التجديد في تخطيط المنهج التعليمي وتعليم المناهج عتيقة الطراز تنتمي للعصور الوسطى قطعًا. أي اقتراح للتغيير يجب البرهنة على صحته عن طريق الكلية، وبشكل عام لا يرى أغلب البروفيسورات أي شيء خطأ في ما علموه لمدة عقود. تعلمت سابقًا كيف يجب تغيير الجامعات المقاومة. كنت محظوظًا في أنني التحقت بكلية حيث كان منهج فيزياء السنة الأولى الفيزياء الكمية. هذا نادر. رغم حقيقة أن الفيزياء الكمية حلت محل الميكانيكا النيوتنية منذ ثمانين سنة، لا تزال أغلب الكليات والجامعات في أمريكا الشمالية تؤجل ميكانيكا الكم حتى السنة الدراسية الثالثة، وحتى عندئذ يتم فقط تقديمها للمتخصصين في علم الفيزياء. منذ أن عرفت كيفية تدريس منهج دراسي في ميكانيكا الكم للمبتدئين، اقترحت القيام بذلك كطالب دراسات عليا في هارفارد. طلبت عضو كلية شاب، هوارد جورجي Howard Georgi، ليوافق على تعليم هذا المنهج معي، لكن المنهج كان مرفوضًا من قبل عميد الفنون والعلوم. لم يكن لذلك علاقة باقتراحنا، كما قال لي، لكن لأنه لم يمر خلال اللجان الضرورية. "لو تركنا كل بروفيسور يعلّم ما يرغب فيه"، قال، "قد يكون لدينا فوضى تعليمية". لست متأكدًا من أن هذه الفوضى التعليمية أمر سيئ، وعلى أي حال، حتى الآن ليس في هارفارد منهج دراسي لميكانيكا الكم للمبتدئين.

إنه لأمر سيئ الحظ أن عدد الطلاب الأمريكيين المؤهلين بدرجات علمية في الفيزياء قد هبط منذ عقود. قد تظن أن هذا يقلل من التنافس في مواقع الفيزياء. لا يحدث هذا، لأن الهبوط في درجات دون التخرج أكثر من أن يعادل الزيادة في دكتوراه الفلسفة التي يحصل عليها طلاب لامعون طموحون من العالم النامي. نفس الموقف نجده في البلدان المتطورة الأخرى.

كان لديّ أحيانًا فرصة – كعضو في لجنة كلية يال المشكلة للتحقيق في الظاهرة، ومنذ ذلك الحين أصبحت خارج اهتمامي – لكي أسأل من لم يتخرجوا والذين تركوا الفيزياء عن سبب فعلهم هذا. أحد الأسباب التي قدموها هو أن منهج الفيزياء يثير الضجر – السنة الأولى تكرر فحسب ما كانوا قد تعلموه في المدرسة الثانية ولا توجد أية إشارة عن موضوعات مثيرة للبحث مثل النظرية الكمية، وعلم الكون، والثقوب السوداء..إلخ. على أمل المساعدة على إحداث انعكاس في الهبوط في عدد طلاب الفيزياء، اقترحت جعل ميكانيكا الكم منهجا دراسيا في الفيزياء للمبتدئين في كل جامعة وظفتني. تم رفض ذلك كل مرة، رغم أنه تم السماح لي مرتين بتدريس شروح في نظرية الكم. كان ذلك ناجحًا، وقلة من الطلاب الذين حصلوا عليه انطلقوا الآن في وظائف جيدة.

ليس مقترحي هنا هو الجدال حول إصلاح المنهج الدراسي، ولكن هذا المثال يوضح أن الجامعات لا تعمل بشكل جيد كناقلات للابتكار، حتى عندما لا يكون هناك الكثير تحت الشك أكثر من تجديد منهج دراسي تركه العلم وراءه منذ ثمانية عقود.

يندم العلماء بين هيئة التدريس على سرعة التقدم في مجالهم. أعرف العديد من علماء البيولوجيا وعلماء الفيزياء التجريبية الذين يشتكون بمرارة من الفرص التي تبددت لأن العلماء الأكبر سناً في أقسامهم لم تكن لديهم الشجاعة والخيال كما لديهم دون شك باعتبارهم جددا في الحصول على درجات دكتوراه الفلسفة. لم يكن يتم أخذ الأفكار الجيدة بشكل جاد بما يكفي عندما تأتي من أشخاص من مرتبة دنيا في العالم الأكاديمي، وبالعكس، كان يتم أخذ أفكار أصحاب المكانة العالية في الغالب بشكل جاد إلى درجة كبيرة.

وليست هناك طريقة لمعالجة نزعات الخلل الوظيفي هذه بدون التحقيق في علم الاجتماع الذي رعاها. لو أنه كان لدينا نحن علماء الفيزياء الغرور لمحاولة تفسير القوانين الأساسية للطبيعة، من الواجب بالتأكيد أننا نستطيع التفكير المنطقي في علم الاجتماع الأكاديمي واتخاذ القرار الضار الذي أصيبت به مؤسساتنا الأكاديمية.

من المفيد أن نذكر أن كلمة "علم الاجتماع" تنمو أكثر في الوقت الراهن بين علماء نظرية الأوتار أكثر منها بين أي جماعة أخرى من العلماء الذين أعرفهم. ويبدو أنها اختصار لـــ "وجهة نظر الجماعة". في مناقشة للحالة الراهنة للأمور مع علماء نظرية أوتار شباب، تسمعهم غالبًا يقولون أشياء مثل "أؤمن بالنظرية، لكنني أكره علم الاجتماع". لو أنك علقت على ضيق وجهات النظر التي يتم تقديمها في مؤتمرات نظرية الأوتار أو على تعاقب الموضوعات الرئيسية حسب الموضة من سنة إلى السنة التي تليها، سوف يتفق معك عالم نظرية الأوتار ثم يضيف، "لا أحبها، لكنه علم الاجتماع فحسب". أكثر من

صديق واحد نصحني قائلاً، "قررت الجماعة أن نظرية الأوتار صحيحة وليس لديك ما تفعله تجاهها. لا يمكنك محاربة علم الاجتماع".

سوف يخبرك أي عالم اجتماع حقيقي أنك لكي تفهم أعمال جماعة ما عليك بالتحقيق في السلطة. من لديه سلطة على من، وكيف يتم ممارسة هذه السلطة؟ ليس علم اجتماع العلم قوة غامضة، فهو يشير إلى تأثير العلماء الأكبر سنًا الراسخين على وظائف العلماء الأصغر سنًا. نشعر نحن العلماء بعدم الراحة في الكلام حول هذا الموضوع، لأنه يضطرنا إلى مواجهة احتمال أن تنظيم العلم قد لا يكون موضوعيًا ومنطقيًا تمامًا.

لكن بعد التفكير في ذلك لمدة طويلة، أصبحت مقتنعًا بأن علينا الحديث في علم اجتماع الفيزياء النظرية، لأن الظواهر التي أشرنا إليها في مجملها باعتبارها "علم اجتماع" لها تأثير سلبي مهم على تقدم الفيزياء النظرية. حتّى رغم أن أغلب علماء نظرية الأوتار هم أشخاص لديهم نزاهة ويتابعون عملهم بأفضل النوايا، هناك جوانب علم اجتماع شاذة في هذا المجال، مقارنة بالمثاليات التي تميز الجماعات العلمية الأكبر. أدى ذلك إلى انحرافات في منهجية الفيزياء النظرية التي تعوق التقدم. ليست القضية ما إذا كانت نظرية الأوتار تستحق إنجازها أو يجب دعمها، لكن لماذا احتكرت نظرية الأوتار، رغم ندرة التنبؤات التجريبية، الموارد المتاحة لتطوير الفيزياء الأساسية، وبذلك تمنع استقصاء المقاربات البديلة الواعدة أيضًا. هناك دليل جيد على أن تقدم نظرية الأوتار نفسها تباطأ بسبب علم المجتمع الذي يقيد مجموعة من أسئلة تم استقصاؤها وتستثني نوعا من العلماء المبتكرين ومستقلي التفكير الذين يتطلبهم التطور.

يجب أن أشير إلى أنه كان هناك دائمًا مجال مهيمنا في الفيزياء النظرية. في زمن ما كانت الفيزياء النووية، ثم كانت فيزياء الجسيمات الأولية. ونظرية الأوتار هي فقط المثال الأكثر حداثة. ربما تم تنظيم جماعة الفيزياء بطريقة بحيث يكون هناك دائمًا مجال مهيمن في أي لحظة. لو أن الأمر كذلك، عندئذ نحتاج إلى فحص السبب.

الأمر الأول الذي يلاحظه من هم خارج مجال جماعة نظرية الأوتار هو الثقة الهائلة بالنفس. كشاهد على أول ثورة أوتار فائقة، في ١٩٨٤، أتذكر الشعور بالنصر الذي استقبل النظرية الجديدة. "سوف ينتهي كل شيء في الأشهر الاثني عشر أو الثمانية عشر التالية". نصحني دان فريدان Dan Friedan، أحد النجوم الشباب في المجال. "من الأفضل أن تدخل بينما لا يزال شيء ما متبقيا لتفعله في الفيزياء النظرية". كان هذا مجرد أحد التأكيدات الكثيرة على أن الأمور سوف تنتهي بسرعة.

بالطبع، لم يحدث ذلك. لكن خلال كل الأحوال اللاحقة، استمر الكثير من علماء نظرية الأوتار في ثقة قصوى بكل من صحة نظرية الأوتار وبالتفوق على أولئك العاجزين عن إنجازها أو غير راغبين في ذلك. بالنسبة للكثيرين من علماء نظرية الأوتار، خاصة الشباب منهم الذين ليس لديهم ذكرى عن الفيزياء قبل ذلك الزمن، من غير الواضح أن يكون عالم فيزياء موهوب، حصل على الفرصة، أي شيء آخر أكثر من عالم نظرية أوتار. صد هذا الموقف بالطبع علماء الفيزياء في المجالات الأخرى. وها هي أفكار لجوآن هيويت JoAnn Hewett، عالمة فيزياء جسيمات في مركز المسارع الخطي في ستانفورد، في موقعها:

وجدت غطرسة في دهشة بعض علماء نظرية الأوتار، حتى بمعايير علماء الفيزياء. البعض يعتقد بالفعل أن كل من هم من غير علماء الأوتار أدنى درجة من العلماء. كل شيء عن خطاباتهم للتوصيات لبعضهم البعض، ولديّ بالفعل بعض منها تذكر ذلك مجابهة..... نظرية الأوتار [كما يجب فهمها] بالغة الأهمية بحيث يجب تنفيذها على حساب كل النظريات الأخرى. هناك مظهران لذلك: تم توظيف علماء نظرية الأوتار في مواقع في الكليات في مستوى عال بشكل متفاوت ليس من الضروري أن يكون متكافئًا مع القدرة في كل الحالات، وعلماء نظرية الأوتار الأصغر سنًا لا يكون لديهم عادة تعليمًا جيدًا في فيزياء الجسيمات. ويقضي البعض في الواقع وقتًا صعبًا في تسمية الجسيمات الأساسية في الطبيعة. وكلا المظهرين يثيران القلق على مستقبل المدى البعيد لمجالنا(١).

الغطرسة التي تصفها د. هيويت كانت سمة لجماعة علماء نظرية الأوتار منذ البداية نفسها. يحب سابراهمانيان شاندراسيكهار Subrahmanyan Chandrasekhar، وربما هو أعظم علماء الفيزياء الفلكية في القرن العشرين، قص حكاية عن زيارة لبرنستون وسط الثمانينيات، حيث تم الاحتفال به لحصوله حديثًا على جائزة نوبل. في العشاء، وجد نفسه جالسًا بجوار شاب جاد. كما يفعل علماء الفيزياء غالبًا لبدء محادثة، سأل زميله في العشاء، "على أي شيء تعمل هذه الأيام؟". كانت الإجابة، "أعمل على نظرية الأوتار، حيث إنها التقدم الأكثر أهمية في فيزياء القرن العشرين". استمر عالم نظرية الأوتار الشاب في إعطاء نصيحة لشاندرا للتخلي عن ما كان يفعله والانتقال

إلى نظرية الأوتار أو يخاطر بأن يصبح عتيق الطراز مثل من كانوا في العشرينيات الذين لم يكرسوا جهدهم فورًا لنظرية الكم.

"أيها الشاب"، أجاب شاندرا، "أنا أعرف فيرنر هيزنبرج. يمكنني أن أعدك بأن هيزنبرج لن يكون أبدًا على هذه الدرجة من الفظاظة بحيث يطلب من أي شخص أن يتوقف عن ما كان يفعله ويعمل على نظرية الكم. ولم يكن أبدًا من الوقاحة بحيث يطلب من شخص حصل على درجة الدكتوراه في الفلسفة منذ خمسين سنة أنه على وشك أن يكون عتيق الطراز".

أي شخص صاحب علماء نظرية الأوتار يقابل هذا النوع من الثقة القصوى بانتظام. ولا يهم نوع المشكلة الجاري النقاش حولها، فإن الخيار الوحيد الذي لم يرد ذكره أبدًا (إلا إذا تقدم به شخص من خارج المجال) هو أن النظرية قد تكون خاطئة ببساطة. لو انحرفت المناقشة إلى حقيقة أن نظرية الأوتار تتنبأ بمشهد ومن ثم لا تقدم أية تنبؤات، سوف يعبر بعض علماء نظرية الأوتار عن نفسه بحماسة مفرطة حول تغيير تعريف العلم.

يفضل بعض علماء نظرية الأوتار الاعتقاد بأن نظرية الأوتار ملغزة بحيث لا يفهمها البشر، أكثر من أن نضع في اعتبارنا احتمال أن تكون خاطئة فحسب. تضع رسالة حديثة على موقع إلكتروني عن الفيزياء هذا الأمر بشكل جميل: "لا يمكننا توقع أن يفهم كلب ميكانيكا الكم، وقد يكون الأمر أننا قد وصلنا إلى حدود ما يمكن للبشر فهمه حول نظرية الأوتار. ربما تكون هناك حضارات متقدمة خارج الأرض نبدو لها أذكياء كما تنظر

إلينا الكلاب، وربما قد اكتشفوا نظرية الأوتار جيدًا بما يكفي لانتقالهم إلى نظرية أفضل...."[٢]. بالفعل، يبدو أنه ليس لديّ علماء نظرية الأوتار أية مشكلة في اعتقادهم بأن نظرية الأوتار يجب أن تكون صحيحة بينما يعترفون بأن ليس لديهم أية فكرة عن ماهيتها. بعبارة أخرى، سوف تصنف نظرية الأوتار ما يأتي بعدها. أول مرة سمعت وجهة النظر هذه يتم التعبير عنها، ظننت أنها نكتة، لكن تكرارها للمرة الرابعة أقنعني بأن المتحدث كان جادًا. حتى ناثان سيبرج Nathan Seiberg، وهو عالم النظريات المشهور في معهد الدراسات المتطورة، تم الاقتطاف منه في مقابلة حديثة قوله ("مبتسمًا")، "لو أن هناك شيئا ما [خلف نظرية الأوتار]، سنسميه نظرية أوتار"[٣].

الصفة المرتبطة بذلك هي الشعور بحق الاستفادة من المخصصات ونقص المراعاة لدى أولئك الذين يعملون على مقاربات بديلة تجاه المشاكل التي تزعم نظرية الأوتار أنها تحلها. بالفعل، علماء نظرية الأوتار لا يهتمون، ولا يعرفون شيئًا عن أي شيء لا يسمى نظرية أوتار. بعكس الممارسة في لقاءات الجاذبية الكمية، أبدًا لا تدعو مؤتمرات نظرية الأوتار الرئيسية علماء يعملون على مقاربات منافسة، لتقديم أبحاث. ويعمل هذا فقط بالطبع على دعم تأكيدات علماء نظرية الأوتار على أن نظرية الأوتار هي المقاربة الوحيدة التي تعطي نتائج ناجحة في الجاذبية الكمية. أحيانًا يقترب الاستخفاف بالمقاربات البديلة من الازدراء. في مؤتمر حديث حول نظرية الأوتار، أفضى لي محرر في صحافة جامعة كامبردج بأن علماء نظرية أوتار

أخبروه بأنه لن يعتبر أبدًا ناشرًا مع الصحافة لأنه نشر كتابًا حول الجاذبية الكمية للأنشوطة. ليس هذا النوع من الأمور نادرًا كما يجب أن يكون.

علماء نظرية الأوتار منتبهون إلى وضعهم المهيمن في عالم الفيزياء، ويبدو أن أغلبهم يشعر بأنهم يستحقون ذلك – لو أن النظرية نفسها لا تسوغ هذا الأمر، فحقيقة أن الكثير جدًا من الأشخاص الموهوبين الذين يعملون فيها يسوغ هذا بالتأكيد. لو أنك طرحت أسئلة تفصيلية حول أحد مزاعم نظرية الأوتار على خبير، فإنك تخاطر بأن يتم التحديق فيك، بحيرة مترددة، مثل شخص اختار بشكل يتعذر تفسيره مسار الحرمان من عضوية النادي. بالطبع، هذا غير صحيح بالنسبة لعلماء نظرية الأوتار الأكثر تفتحًا – لكن هناك شد محكم غريب لعضلات الوجه رأيته في أغلب الأحيان أن عليّ تجاهله، ويحدث هذا عادة عندما يدرك عالم نظرية أوتار شاب فجأة أنه يتكلم مع شخص لا يشاركه في كل افتراضات العشيرة(٤).

الصفة المميزة الأخرى لنظرية الأوتار هي، في ما لا يشبه مجالات الفيزياء الأخرى، أن هناك تمييزا واضحا بين علماء نظرية الأوتار والعلماء غير علماء نظرية الأوتار. قد تكون كتبت عدة أبحاث عن نظرية الأوتار، لكن هذا لا يعني بالضرورة أنه يجب على علماء نظرية الأوتار اعتبارك واحدًا منهم. في البداية وجدت ذلك محيرًا. كنت أتبع استراتيجية العمل على مقاربات مختلفة لمحاولة التعلم من كل منها ما أستطيع فعله. ورأيت في البداية الكثير مما فعلته، حتى العمل على نظرية الأوتار، باعتباره موجهًا إلى قضية مفتوحة مهمة في نظرية الأوتار، وهي كيفية جعلها صيغة مستقلة عن

الخلفية. أخيرًا شرح لي بعض الأصدقاء أنه لكي يعتبر المرء جزءًا من جماعة نظرية الأوتار – ومن ثم لكي يكون لديه أي أمل لنيل مركزًا رفيعًا فيها – عليه ألا يقتصر عمله على نظرية الأوتار ولكن على مشاكل خاصة كان علماء نظرية الأوتار مشغولين بها حينئذ. لا أظن أن أصدقائي تصوروا أن فعل ذلك قد يعرض بصيرتي للخطر أو يصطدم بحريتي الأكاديمية.

كان لدى نطاق واسع من الاهتمامات، وكنت أذهب دائمًا إلى المؤتمرات في مجالات خارج مجالي. لكن فقط في مؤتمرات نظرية الأوتار يحدث أن يقترب مني أشخاص ويسألون، "ما الذي تفعله هنا؟". لو أنني شرحت بأنني كنت أعمل على نظرية أوتار وأريد أن أرى ما يفعله الأشخاص الآخرون، قد يقولون، والحاجبان يتجعدان بعلامة التساؤل، "لكن ألست أنت رجل الأنشوطة هذا؟". لم يحدث أبدًا أن سألني أي شخص في مؤتمر عن الفيزياء الفلكية، أو علم الكون، أو الفيزياء الحيوية، أو ما بعد الحداثة، ماذا أفعل هناك. في أحد مؤتمرات نظرية الأوتار، جلس عالم نظرية أوتار رئيسي، وقدم يده، قائلاً، "مرحبًا في وطنك!". وقال آخر، "إنه لأمر جميل جدًا أن نراك هنا! كنا قلقين عليك".

في أي سنة ما، لا يكون هناك أكثر من نطاقين أو ثلاثة في نظرية الأوتار يتم البحث فيها بشكل كثيف. ويتغير ذلك من عام إلى آخر، ويمكن تتبع الموضات بالنظر في عناوين المحاضرات في مؤتمرات نظرية الأوتار السنوية الأساسية. غالبًا يكون ثلثا المحاضرات على الأقل المرتبطة باتجاه أو اتجاهين ولم يتم تقديمها منذ سنتين ماضيتين وستغيب تقريبًا من المؤتمر بعد

عامين. ويكون الشباب منتبهين جيدًا إلى أن المهنة الناجحة تتطلب متابعة اثنين أو أكثر من هذه البدع بتعاقب سريع، بالطول الكافي فحسب للحصول على درجة دكتوراه ثم وظيفة مساعد بروفيسور جيدة. لو تحدثت عن ذلك مع قادة نظرية الأوتار، كما كنت أفعل من وقت إلى آخر، تكتشف أنهم يعتقدون حقًا بأن تركيز جهود جماعة كبيرة من أكثر الأشخاص تألقًا سوف يؤدي إلى تسريع التقدم أكثر من تشجيع الزملاء على التفكير بشكل مستقل ومتابعة تشكيلة من الاتجاهات.

لهذه المقاربة المنفردة والمتصلبة (كما كان يصفها أحد علماء نظرية الأوتار الأكبر سنًا) و"المنضبطة" ثلاث عواقب سيئة الحظ. أولاً، المشاكل التي لا يمكن حلها في عامين أو ثلاثة يتم إسقاطها وغالبًا لا يحدث أن تتم العودة إليها أبدًا. السبب بسيط وصارم: علماء نظرية الأوتار الشباب الذين يكفون بسرعة عن تخصصهم الذي حصلوا عليه بجهد في نطاق لم يعد متوافق مع آخر موضة وينتقلون إلى اتجاه جديد يجدون أنفسهم أحيانًا مدفوعين إلى أفكار وأجندات أبحاث لقلة من الأشخاص الذين أصبحوا الآن كبارًا في السن تمامًا. في العقد الماضي، توصل اثنان فقط من علماء نظرية الأوتار الشباب، جوان مالداسينا ورافئيل بواسو Raphael Bousso، إلى اكتشافات غيرت اتجاه المجال. ويعتبر هذا في تناقض مع الكثير من المجالات الأخرى في الفيزياء، حيث تأتي أغلبية الأفكار والاتجاهات الجديدة من أشخاص في العشرينيات والثلاثينيات من العمر. ثالثًا، تستخدم نظرية الأوتار مواهب وعمل عدد كبير من الأشخاص في جماعتها بشكل غير

فعال. هناك الكثير من ازدواج الجهد، بينما لا يتم استكشاف الكثير من الأفكار التي يمكن أن تكون مهمة. وهذا الضيق في السبل واضح لأي شخص يوجد في لجان الجامعة التي تختار الأكاديميين. في مجالات مثل علم الكون، أو نظرية المعلومات الكمية، أو الجاذبية الكمية، هناك الكثير من اقتراحات الأبحاث بكثرة المرشحين، وغالبًا أفكار لم يسمع عنها أحد من قبل. في مستودع نظرية الأوتار، تنزع إلى مواجهة نفس اقتراحي البحث أو ثلاثة اقتراحات مرارًا وتكرارًا.

بالطبع، يعرف الشباب ما تفعله. قضيت الكثير من سنوات الممارسة مع مثل هذه اللجان، ووجدت أنه مع قلة من الاستثناءات، تختلف المعايير التي يستخدمها علماء نظرية الأوتار في تقييم المتقدمين إليهم عن تلك المستخدمة في مجالات أخرى. ويتم تقييم القدرة على إجراء العمل الذكي رياضيًا على مسائل تلقى اهتمامًا في الوقت الراهن، بقدر ما يمكنني قوله، بابتكار أفكار أصلية. الشخص الذي يكون قد نشر أبحاثًا فقط مع علماء قادة كبار في السن، والذي قدم اقتراحه البحثي القليل من الأدلة على حكم مستقل أو على الأصالة، ربما لا يمكن عرض موقع عليه في مركز قيادي في الجاذبية الكمية، لكنه يبدو الطريق الأكثر أمنًا لوظيفة أكاديمية في مراكز نظرية الأوتار القيادية. نوع المتقدمين الذين يثيرون اهتمامي – شخص ما ببحث وحيد منشور يصف تبصرات مدهشة وأفكار جديدة فيها مخاطرة – لا يثير حماس أصدقائي في نظرية الأوتار.

في بعض الجماعات الأخرى التي قضيت وقتًا فيها، مثل الجاذبية الكمية وعلم الكون، هناك تشكيلة من وجهات النظر تجاه المشاكل المفتوحة. لو أنك تحدثت مع خمسة خبراء مختلفين، شباب وكبار في السن، سوف تحصل على خمس محاولات مختلفة حول اتجاه الموضوع. باستثناء المجادلات الراهنة حول المشهد والمبدأ الإنساني، حافظ علماء نظرية الأوتار على اتساق رائع بين وجهات النظر. نسمع نفس الشيء، وأحيانًا بنفس الكلمات، من أشخاص مختلفين.

أعرف بعض علماء نظرية الأوتار الشباب سوف يعترضون على هذا الوصف. يصرون على أن هناك نطاقا واسعا من وجهات النظر داخل الجماعة – نطاقا لا يشارك فيه فحسب من هم خارج الجماعة. من الجيد معرفة ذلك، لكن ما يقوله الأشخاص بشكل خصوصي لأصدقائهم ليس هو الموضوع. بالفعل، لو أن النطاق الواسع من وجهات النظر يتم التعبير عنه بشكل خصوصي أكثر منه بشكل علني، فإن هذا يوضح أن هناك تراتبية تتحكم في الحديث – وفي أجندة البحث.

التضييق المتعمد لأجندة البحث بواسطة قادة نظرية الأوتار يتم استنكاره ليس فقط من حيث المبدأ، ولكن أيضًا لأنه يقود بالتأكيد تقريبًا إلى تقدم أبطأ. نحن نعرف هذا بسبب العدد الكبير من الأفكار التي أصبحت مهمة للمجال بعد سنوات كثيرة من أول اقتراح لها. على سبيل المثال، اكتشاف أن نظرية الأوتار تتكون من تجميع هائل لنظريات تم نشره أولاً بواسطة أندرو سترمنجر في ١٩٨٦، لكن تمت مناقشته الواسعة بواسطة علماء نظرية

الأوتار فقط بعد ٢٠٠٣، بعد أعمال ريناتا كالوش Renata Kallosh وزملائها في ستانفورد(٥). وها هو مقتطف حديث من وولفجانج ليرش Wolfgang Lerch، أحد علماء نظرية الأوتار المشهورين في سيرن.

حسنا، ما أجده مزعجًا هو أن تلك الأفكار في طريقها للتلاشي منذ منتصف الثمانينيات، وفي بحث عن إنشاء للأوتار في الأبعاد الأربعة تم تقديم تقدير أولي عن أدنى عدد للفراغات، إلى الحد ١٠^١٥٠٠، وتم تجاهل هذا العمل (لأنه لا يتناسب مع الفلسفة في ذلك الوقت) من قبل نفس الأشخاص الذين يعيدون الآن "ابتكار" المشهد، والذي ظهر في المجلات في هذا السياق بل حتى يبدو أنهم يكتبون كتبًا حوله..... مجمل النقاش يمكن أن يكون (ويجب أن يكون في الحقيقة) [هكذا] تم في ١٩٨٦/٨٧. الشيء الرئيسي الذي [هكذا] تغير منذ ذلك الحين هو عقل أشخاص معينين، والذي تراه الآن هو آلة دعاية ستانفورد وهي تعمل بكل طاقتها (٦).

اقتراحي الخاص هو أنه يجب النظر إلى نظرية الأوتار باعتبارها مشهدًا من نظريات تم نشره أولاً في ١٩٩٢، وتم تجاهله أيضًا(٧). ليس هذا مثالا منعزلا. تم ابتكار نظريتي أوتار فائقة في أحد عشر بعدًا قبل الثورة الأولى للأوتار الفائقة الأولى في ١٩٨٤ لكن تم تجاهلهما حتى تم إحياؤهما في الثورة الثانية، بعد أكثر من عقد. كانتا الجاذبية الفائقة في أحد عشر بعدًا والبران الفائق في الأحد عشر بعدًا. بين ١٩٨٤ و١٩٩٥، عمل عدد صغير من علماء النظريات على هاتين النظريتين، لكنهم دُفعوا إلى هوامش جماعة نظرية الأوتار. يمكنني تذكر عدة إشارات من علماء نظرية الأوتار

الأمريكيين إلى هؤلاء "الأوروبيين المتعصبين للجاذبية الفائقة". بعد ١٩٩٥، تم تخمين أن علماء النظريات هؤلاء وحدوا نظرية الأوتار ونظرية M، وهؤلاء الذين اجتهدوا فيها تم الترحيب بعودتهم إلى جماعة الأوتار من الواضح أن التقدم كان يمكن أن يكون أسرع لو أنه لم يتم إقصاء هذه الأفكار من الاعتبار كل هذا الوقت الطويل.

هناك العديد من الأفكار التي قد تساعد نظرية الأوتار في حل مشاكلها الجوهرية، لكن لم تتم دراستها على نطاق واسع. إحداها هي الفكرة القديمة بأن منظومة الأرقام التي تسمى الثُمانيات octanions هي المفتاح للفهم العميق للعلاقة بين التماثل الفائق والأبعاد الأعلى. والثانية هي ضرورة، التي أكدت عليها بالفعل، أن تكون الصيغة الأساسية لنظرية الأوتار أو نظرية M، والتي لم يتم استكشافها حتى الآن، مستقلة عن الخلفية. خلال مناقشة عامة حول "الثورة التالية للأوتار الفائقة" في مؤتمر الأوتار ٢٠٠٥، لاحظ ستيفن شينكير، مدير معهد ستانفورد للفيزياء النظرية، أنها كان من المرجح أن تأتي من موضوع رئيس من خارج نظرية الأوتار. لو أن قادة المجال كانوا قد أدركوا ذلك، فلماذا لم يشجعوا الشباب على استكشاف نطاق أوسع من الموضوعات؟

يبدو أن ضيق أجندة الأبحاث نتيجة الاحترام الهائل لجماعة الأوتار لوجهات نظر قلة من الأفراد. علماء نظرية الأوتار هم العلماء الوحيدون الذين قابلتهم في أي وقت الذين يرغبون كما هو المعهود في معرفة ما يفكر فيه الأشخاص كبار السن في المجال، مثل إدوارد ويتين، قبل أن يعبروا عن

وجهات نظرهم الخاصة. بالطبع يفكر ويتين بوضوح وبعمق، لكن الفكرة أنه ليس من الطيب لأي مجال أن يتم أخذ وجهة نظر شخص واحد بمصداقية بالغة. لا يوجد عالم، حتى نيوتن أو أينشتاين، لم يخطئ في عدد كبير من القضايا كانت لهم وجهات نظر قوية عنها. في كثير من المرات، خلال مناقشة بعد محاضرة في مؤتمر أو خلال محادثة، لو ظهرت قضية مثيرة للجدل، يسأل شخص ما بشكل لا يتغير، "حسناً، ما الذي يظنه إد؟" كان من العادة أن يدفعني ذلك إلى التشتت، وأحياناً قد أجعل الأمر أوضح: "انظر، عندما أرغب في معرفة ما يظنه إد، أسأله، وأنا أسألك ماذا تظن أنت، لأنني مهتم برأيك".

الهندسة غير التبادلية مثال على مجال تجاهله علماء نظرية الأوتار حتى احتضنه ويتين. ويحكي ألين كونيس، مبتكرها، القصة التالية:

ذهبت إلى شيكاغو في ١٩٩٦ وألقيت محاضرة في قسم الفيزياء. كان هناك عالم فيزياء مشهورا، وغادر الغرفة قبل انتهاء المحاضرة. لم أقابل عالم الفيزياء هذا مرة أخرى حتى عامين لاحقين، عندما ألقيت نفس المحاضرة في ديراك فورام في مختبر راثرفورد، بالقرب من أكسفورد. كان نفس عالم الفيزياء حاضراً، وكان ينظر هذه المرة متفتحا جدًا ومقتنعا. عندما ألقى محاضرته لاحقًا، أشار إلى محاضرتي بشكل إيجابي. أدهشني ذلك، فقد أشار إلى محاضرتي بشكل إيجابي جدًا. أدهشني ذلك، لأنها كانت نفس المحاضرة، ولم أكن قد نسيت رد فعله السابق. لذلك أثناء طريق العودة إلى أكسفورد، كنت جالسًا بجواره في الحافلة، وسألته، "كيف يمكن أن تكون قد

حضرت نفس المحاضرة في شيكاغو وغادرت قبل نهايتها، والآن تحبها بالفعل؟". لم يكن الرجل مبتدئًا – كان في الأربعينيات من عمره. كانت إجابته "شوهد ويتين وهو يقرأ كتابك في مكتبة برنستون!"(٨).

يجب أن يقال إن هذا الموقف يذوي، ربما استجابة للنزاع الحاد الراهن الذي يحيط بالمشهد. حتى العام الماضي، كان من الصعب أن أقابل في أي وقت تعبيرًا عن الشك من عالم نظرية أوتار. والآن أسمع أحيانًا من شباب أن هناك "أزمة" في نظرية الأوتار. "لقد فقدنا قادتنا"، هذا ما يقوله بعضهم. "قبل ذلك، كان من الواضح دائمًا ماهية الاتجاه المثير للاهتمام، والمجال الذي يعمل فيه الأشخاص. الآن لا يوجد إرشاد حقيقي"، أو (كل منهم للآخر بعصبية) "هل من الصحيح أن ويتين لم يعد يعمل على نظرية الأوتار؟".

الوجه الآخر لنظرية الأوتار الذي يجده كثيرون مثيرًا للاضطراب هو ما يمكن وصفه فقط باعتباره ميلا إلى الولاء الشديد لدى بعض من يمارسونها، خاصة الأشخاص الأصغر سنًا. بالنسبة إليهم، تصبح نظرية الأوتار دينا. وأولئك من بيننا الذين ينشرون أبحاثًا يتساءلون حول نتائج أو مزاعم علماء نظرية الأوتار يتلقون بانتظام بريدًا إلكترونيًا ألطف أشكال الإهانات فيه هي "هل تمزح؟" أو "هل هذه نكتة؟". وتفيض مناقشات "خصوم" نظرية الأوتار على مواقع شبكة المعلومات وعلى جماعات الثرثرة، حيث، حتى مع وجود الطبيعة مطلقة العنان لمثل هذه الفقرات، فإن التنافس الذكي والحرفي لمن هم ليسوا علماء نظرية أوتار يتم الشك فيه بكلمات بغيضة بصورة فائقة. من الصعب عدم استنتاج أن بعض علماء نظرية الأوتار على الأقل بدأوا يرون أنفسهم باعتبارهم أبطال حرب صليبية أكثر من كونهم علماء.

يرتبط بهذا الزهو بالنفس الميل إلى قراءة الأدلة بأكثر الطرق المتفائلة الممكنة. زملائي في الجاذبية الكمية يتبنون عمومًا بشكل عنيد، ومتشائم غالبًا، وجهة نظر جوانب حل المشاكل المفتوحة. من بين علماء نظرية الجاذبية الكمية للأنشوطة، أبدو المتفائل الكبير. لكن تفاؤلي يتضاءل أمام تفاؤل أغلب علماء نظرية الأوتار. هذا صحيح بشكل خاص عندما يتعلق الأمر بالأسئلة الكبيرة التي لم تجد إجابة عنها بعد. كما تمت مناقشته، فإن وجهة النظر "الوترية" للأشياء تقوم على تخمينات طويلة الأمد يتم الاعتقاد في صحتها على نطاق واسع بواسطة علماء نظرية الأوتار لكن لم يتم إثباتها أبدًا. وبعض علماء نظرية الأوتار يعتقدون في صحتها على أي حال. التفاؤل جيد إلى حد ما، لكن ليس عندما ينتج عنه تحريفات بشكل كامل. لسوء الحظ، فإن الصورة التي يتم عرضها عادة على الجمهور العام في كتب ومقالات وعروض تليفزيونية - وأيضًا إلى من يستمعون إلى العلماء - تختلف جوهريًا عن ما يصل إليه القارئ المباشر للنتائج المنشورة. على سبيل المثال، في عرض لكتاب ليونارد ساسكايند ٢٠٠٥، "المشهد الكوني"، في مجلة تجارية لعلماء الفيزياء، يقول العارض، وهو يفكر في وجود الكثير من علماء نظرية الأوتار:

تتم معالجة هذه المشكلة بواسطة نظرية M، وهي نظرية فريدة تلقى قبولاً عامًا، والتي تصنف في فئة أكثر شمولاً نظريات الأوتار الفائقة باستلزام ١١ أبعاد مكانية زمنية وبدمج أشياء ممتدة أعلى أبعادًا تسمى البرانات. من بين إنجازات نظرية M التفسير الميكروسكوبي الأول لإنتروبيا

الثقب الأسود، الذي تنبأ به هاوكنج في السبعينيات باستخدام أدلة ماكروسكوبية.. مشكلة نظرية M هي أنه رغم أن معادلاتها قد تكون فريدة، فإنها لها مليارات ومليارات من الحلول المختلفة[٩].

المبالغات الأكثر إثارة للصدمة هنا هي التضمين بأن نظرية M موجودة كنظرية دقيقة أكثر من كونها اقتراحا وأن لها معادلات محددة، وليس أي من الأمرين صحيحا. تمت المبالغة في الزعم بأنها تفسر إنتروبيا الثقب الأسود (كما لاحظنا في الفصل ٩)، لأن نتائج نظرية الأوتار تنجح فقط في الثقوب السوداء الخاصة وغير المألوفة.

يمكنك أيضًا العثور على مثل هذه التحريفات في صفحات شبكة المعلومات الهادفة إلى تقديم نظرية الأوتار إلى الجمهور، مثل ما يلي:

هناك حتى طريقة لوصف الجرافيتون، الجسيم الذي يحمل قوة الجاذبية، وهو سبب مهم لتلقي نظرية الأوتار كل هذا الاهتمام الكثير. الفكرة أنه يمكننا إعطاء معنى لتفاعل جسيمين جرافيتون بطريقة لا يمكننا اتباعها في QFT. لا توجد لانهائيات! والجاذبية ليست شيئًا نضعه بأيدينا. إنها هناك في نظرية للأوتار. لذلك، فإن الإنجاز العظيم الأول لنظرية الأوتار كان إعطاء اتساق لنظرية جاذبية كمية[١٠].

يعرف هؤلاء المسؤولون عن صفحة شبكة المعلومات الخاصة تلك أن أحدًا لم يثبت أنه "لا توجد لانهائيات". لكن يبدو أنهم واثقون بما يكفي من صحة التخمين بحيث يقدمونه كحقيقة. وأكثر من ذلك، فإنهم يتطرقون إلى قضية نظريات الأوتار الفائقة الخمس المختلفة:

وعندئذ فقط تم إدراك أن نظريات الأوتار الخمس هذه هي بالفعل جزر على نفس الكوكب، وليست نظريات مختلفة! بذلك هناك نظرية ضمنية تكون كل نظريات الأوتار جوانب مختلفة لها. وهي ما أُطلق عليه نظرية M. قد تعتبر نظرية M أما لكل النظريات أو لغزا Mystery، لأن الكوكب الذي نسميه نظرية M لا يزال غير مستكشف إلى حد كبير.

يحدد ذلك أن "هناك نظرية ضمنية"، حتى لو كان السطر الأخير يسلم بأن نظرية M "لا تزال غير مستكشفة إلى حد كبير". قد يستنتج من ذلك أحد أفراد الجمهور أن هناك نظرية يُطاق عليها نظرية M، مع الخواص العادية لأي نظرية، وهي صيغة بالنسبة للمبادئ الدقيقة والتمثيل بمعادلات دقيقة[١١].

يقدم الكثير من مراجعة الأبحاث والمحاضرات عبارات مماثلة في غموضها وعدم دقتها حول النتائج. وهناك لسوء الحظ كمية كبيرة من التشوش حول ما أنجزته نظرية الأوتار بالفعل، إضافة إلى الميل إلى المبالغة في النتائج والإقلال من شأن المصاعب. عندما سألت خبراء، صدمني أن أجد أن الكثير من نظريات الأوتار تعجز عن إعطاء إجابات صحيحة وتفصيلية عن أسئلة حول حالة التخمينات الرئيسية، مثل اضطراب المحدودية، أو ازدواجية S، أو حدس مالداسينا، أو نظرية M.

أعرف أن هذه شحنة قوية، لذلك دعني أصورها بمثال. أحد المزاعم المقدمة لنظرية الأوتار أنها نظرية محدودة. هذا يعني أن الإجابات التي تعطيها لكل الأسئلة الفيزيائية المحسوسة تتضمن أعدادًا محدودة. من الواضح

أن أي نظرية قابلة للتطبيق يجب أن تقدم إجابات محدودة عن الأسئلة حول الاحتمالات، أو تنبؤات محدودة عن كتلة أو طاقة جسيم ما أو عن شدة قوة ما. مع ذلك تفشل مرارًا نظريات الكم المقترحة للقوى الأساسية في فعل ذلك. بالفعل، من العدد الهائل للنظريات المختلفة عن القوى التي تتسق مع مبادئ النسبة، كلها عدا عدد قليل منها ينتج إجابات لانهائية عن هذه الأنواع من الأسئلة. هذا صحيح بشكل خاص بالنسبة لنظريات الكم للجاذبية. تم التخلي عن الكثير من المقاربات التي كانت واعدة ذات مرة لأنها فشلت في تقديم إجابات محدودة. وتتضمن الاستثناءات القليلة نظرية الأوتار والجاذبية الكمية للأنشوطة.

كما ناقشت في الفصل ١٢، الزعم بأن نظرية الأوتار تعطي إجابات محدودة تمت صياغته في مخطط تقريبي معين يسمى نظرية اضطراب الأوتار. تعطي هذه التقنية مجموعة لانهائية من التقريبات لحركات وتفاعلات الأوتار في وضع معين. نتحدث عن التقريب الأول، والتقريب الثاني، والتقريب السابع، والتقريب مائة مليون، حتى ما لا نهاية. لإثبات أن نظرية ما محدودة في مثل هذا المخطط، علينا إثبات أن كل واحد من العدد اللانهائي من الحدود محدود. من الصعب فعل ذلك، لكنه ليس مستحيلاً. لقد تم فعله، على سبيل المثال، لنظرية كمية للكهرومغناطيسية، أو QED، في أواخر الأربعينيات والخمسينيات. كان هذا هو انتصار ريتشارد فينمان، وفريمان دايسون، وجيلهما. تم إثبات أن النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات محدود في ١٩٧١ بوساطة جيرارد تهوفت.

تعود الإثارة البالغة لــ ١٩٨٤-٨٥ جزئيًا إلى خمس نظريات أوتار فائقة أصلية تم إثبات أنها محدودة حتى التقريب الأول. بعض بضع سنوات، تم نشر بحث بواسطة عالم النظريات المشهور ستانلي ماندلستام تم اتخاذه كإثبات لصحة كل العدد اللانهائي للحدود المحدودة[١٢].

في ذلك الوقت، كانت الاستجابة لبحث ماندلستام مختلطة. بالفعل، هناك برهان حدسي – يعتقد في صحته الكثير من علماء نظرية الأوتار – يقترح بقوة أنه لو كانت النظرية موجودة على أي حال، فإنها ستعطي إجابات محدودة. في نفس الوقت، أنكر عدة علماء رياضيات أعرفهم، والذين كانوا خبراء في القضايا التقنية المتضمنة أن البرهان كان إثباتًا كاملاً.

لم أسمع الكثير عن قضية المحدودية لعدة سنوات. لقد خفتت ببساطة في الخلفية مع انتقال المجال إلى مشاكل أخرى. من وقت إلى آخر، قد يظهر بحث على الإنترنت يعالج هذه القضية، لكنني ألقي اهتمامًا قليلاً به. بالفعل، لا أتذكر الشك في محدودية النظرية على أي حال، حتى الوقت الراهن. أغلب التطورات التي تابعتها في السنوات العشرين الماضية، وكمية كبيرة من عملي الخاص في هذا النطاق، كانت قائمة على افتراض أن نظرية الأوتار محدودة. سمعت الكثير من المحاضرات ألقاها علماء نظرية أوتار خلال السنوات التي بدأت بالقول بأن النظرية أعطت "نظرية كمية محدودة للجاذبية"، قبل متابعة التعامل مع مشكلة تلقى اهتمامًا راهنًا. تمت كتابة الكثير من الكتب، وتم إلقاء المحاضرات الموجهة إلى الجمهور، والتي تؤكد على أن نظرية الأوتار نظرية كمية ملموسة للجاذبية والقول الواضح أو الضمني

بأن النظرية محدودة. طالما كان الأمر يتعلق بعملي، اعتقدت أن نظرية الأوتار تم إثبات أنها محدودة (أو تم إثبات أنها محدودة تقريبًا، في حدود حشو بعض التفاصيل التقنية التي قد ينشغل بها فقط علماء الرياضيات)، وكان هذا سببا رئيسيا بالنسبة لي لكي أستمر في الاهتمام بها.

في ٢٠٠٢، طُلب مني أن أكتب وأقدم مراجعة لمجمل مجال الجاذبية الكمية لمؤتمر تم تنظيمه لتكريم جون ويلر، أحد مؤسسيها. قررت أن الطريق الأفضل لمراجعة الموضوع هي كتابة قائمة لكل النتائج الأساسية التي أثبتتها حتى الآن المقاربات المختلفة. كان أملي أن أقدم مقارنة موضوعية عن مدى جودة ما تفعله كل مقاربة في التوجه نحو هدف نظرية الجاذبية الكمية. كتبت مسودة للبحث، وبالطبع، كانت إحدى نتائج قائمتي محدودية نظرية الأوتار الفائقة.

للانتهاء من البحث، كان عليّ بالطبع أن أجد استشهادات مناسبة إلى أبحاث عُرضت فيها كل من النتائج الموجودة في القائمة. بالنسبة إلى أغلبها، ثبت أن هذا لا يمثل أية مشكلة، لكني اصطدمت بمشاكل خلال بحثي عن إشارة لإثبات محدودية نظرية الأوتار. بالنظر في مصادر مختلفة، وجدت إشارة فقط إلى بحث أصلي لماندلستام – وهو، كما قال لي علماء رياضيات، الذي كان غير كامل. وجدت القليل من الأبحاث الأخرى حول المشكلة، ولا يزعم أي منها بأنه يقدم نتيجة نهائية. عندئذ بدأت أسأل علماء نظرية الأوتار الذين كنت أعرفهم، بشكل شخصي أو بالبريد الإلكتروني، حول حالة المحدودية، والمكان الذي يمكنني أن أجد فيه بحثًا يحتوي على الإثبات.

سألت عشرة أو ما يقرب من ذلك من علماء نظرية الأوتار، شباب وكبار في السن. تقريبًا أخبرني كل من أجاب أن النتيجة صحيحة. ولم يكن لدى أغلبهم إشارة عن استشهاد للبرهان، وهؤلاء الذين فعلوا ذلك أعطوني بحث ماندلستام. ومحبطًا، رجعت إلى أبحاث المراجعات – وهي أبحاث كُتبت لاستعراض النتائج الرئيسية للمجال. من بين أكثر من خمس عشرة مقالة مراجعة رجعت إليها، قال أغلبها أو تضمن أن النظرية محدودة[١٣]. بالنسبة للاستشهادات، وجدت فقط أبحاث مراجعة أقدم أو بحث ماندلستام. وجدت بحث مراجعة لعالم فيزياء روسي، يشرح أن النتيجة لم يتم إثباتها[١٤]. لكن كان من الصعب تصديق أنه على حق وكل المراجعات بواسطة أشخاص مشهورين، أغلبهم أعرفه وأعجب به، كانت خاطئة.

أخيرًا، سألت زميلي في بيريميتر روبرت مايرز. أخبرني، بصراحته المنعشة المعتادة، أنه لا يعرف ما إذا كان قد تم إثبات المحدودية بشكل كامل، لكنه أشار إلى أن شخص يدعى إريك دهوكر قد يعرف ذلك. بحثت عنه ووجدته، وهذه هي كيفية توصلي أخيرًا إلى أن دهوكر وفونج كانا، فقط في ٢٠٠١، قد نجحا في إثبات المحدودية حتى الدرجة الثانية من التقريب (انظر الفصل ١٢). حتى ذلك الحين، خلال السنوات السبع عشرة منذ ١٩٨٤، لم يكن قد حدث أي تقدم حقيقي. (كما أشرت في الفصل ١٢، كان هناك بعض التقدم في السنوات الأربع منذ بحث دهوكر وفونج، بشكل أساسي بواسطة ناثان بيركوفيتس. لكن برهانه يعتمد على افتراضات إضافية لم يتم إثبات صحتها، لذلك، بينما كان خطوة إلى الأمام، فإنه لا يعتبر حتى الآن

برهانًا كاملاً للمحدودية). لذلك، كانت الحقيقة أن الحدود الثلاثة الأولى فقط من العدد اللانهائي من الحدود في التقريب هي المعروف عنها فقط أنها محدودة. فوق ذلك، ما إذا كانت النظرية محدودة أو لانهائية كان (ولا يزال) مجهولا ببساطة.

عندما وصفت هذا الموقف في بحثي عن المراجعة، تم استقباله بالنبذ. وصلتني عدة رسائل من البريد الإلكتروني، ولم تكن كلها مؤدبة، تزعم أنني على خطأ، وأن النظرية محدودة، وأن ماندلستام برهن على ذلك. لديّ خبرة مماثلة في الحديث مع علماء نظرية أوتار، بعضهم صدم عندما سمع أن برهان المحدودية لم يكتمل أبدًا. لكن صدمتهم كانت لا شيء مقارنة بصدمة علماء الفيزياء وعلماء الرياضيات الذين تحدثت معهم ولم يكونوا من علماء نظرية الأوتار، والذين كانوا يعتقدون بأن نظرية الأوتار محدودة لأنه قد قيل لهم إنها كذلك. بالنسبة لنا جميعًا، كان لانطباع أن نظرية الأوتار محدودة علاقة كبيرة بإقرارنا بأهميتها. لم يستطع أحد من بيننا أن يتذكر أنه سمع في أي وقت عالم نظرية أوتار يشير إليها باعتبارها مشكلة لم تحل.

شعرت بشكل ما أيضًا بأنه من غير الاعتيادي تقديم بحث يهدف إلى تقديم تقدير مفصل للبرهان الداعم للتخمينات المختلفة في نظرية الأوتار. بالتأكيد، كما فكرت، كان هذا أمرا على أحد قادة المجال فعله بصورة دورية. هذا النوع من أبحاث المراجعة النقدية، بالتأكيد على المشاكل المهمة التي لم يتم حلها، شائع في الجاذبية الكمية، وعلم الكون، وأشك أنه كذلك في أغلب المجالات الأخرى للعلم. ولأنه لم يتم فعل ذلك بواسطة أي من قادة نظرية

الأوتار، تم تركه لشخص مثلي، باعتباري شبه "عضو في الجماعة" لديه معرفة تقنية لكن ليس لديه الالتزام الاجتماعي، لكي يتحمل هذه المسئولية. ولقد فعلت ذلك بسبب اهتمامي الخاص بنظرية الأوتار، التي كنت أعمل عليها بشكل حصري تقريبًا في ذلك الوقت. رغم ذلك، نظر بعض علماء نظرية الأوتار إلى المراجعة باعتبارها عملا عدائيا.

كارلو روفيلي، من مركز الفيزياء النظرية في مرسيليا، صديق طيب عمل في الجاذبية الكمية. كانت لديه نفس التجربة عندما جسد عبارة أن نظرية الأوتار لم يتم أبدًا إثبات أنها محدودة في حوار كتبه يصور بشكل درامي المجادلة بين المقاربات المختلفة للجاذبية الكمية. وصلته رسائل كثيرة بالبريد الإلكتروني تؤكد على أن ماندلستام أثبت أن النظرية محدودة وهو ما قرر كتابته إلى ماندلستام نفسه وسؤاله عن وجهة نظره. كان ماندلستام قد تقاعد، لكنه رد بسرعة. شرح أن ما أثبته نوع معين من الحدود اللانهائية لا يظهر في أي مكان في النظرية. لكنه أخبرنا أنه لم يثبت بالفعل أن النظرية نفسها محدودة، لأن الأنواع الأخرى من الحدود قد تظهر[١٥]. لم تتم رؤية مثل هذا الحد في أي وقت في أي حسابات تم إجراؤها حتى الآن، لكن أيضًا لم يثبت أحد أن حدًا لا يمكن أن يظهر.

لم يقرر أي من علماء نظرية الأوتار الذين ناقشتهم في هذه القضايا، بعد معرفته بأن النظرية لم يتم إثبات أنها محدودة، أن يتوقف عن العمل على نظرية الأوتار. ولقد قابلت أيضًا علماء نظرية أوتار مشهورين أصروا على أنهم برهنوا على محدودية النظرية منذ عقود مضت ولم ينشروا عن ذلك فقط بسبب بعض القضايا التقنية التي ظلت بدون حل.

لكن عندما يتم حل قضية المحدودية وإذا حدث ذلك، سيكون علينا التساؤل حول كيف حدث أن الكثير جدًا من أعضاء برنامج أبحاث كانوا غير منتبهين إلى حالة إحدى النتائج المهمة في مجالهم. هل يكون من غير المثير للاهتمام أنه بين ١٩٨٤ و٢٠٠١ تحدث وكتب الكثير من علماء نظرية الأوتار كما لو أنه كان من الحقيقي أن النظرية كانت محدودة؟ لماذا يشعر الكثير من علماء نظرية الأوتار بعدم الراحة عند الحديث مع أشخاص من خارج مجالهم ومن داخل المجال بالطريقة نفسها، باستخدام لغة تتضمن أن النظرية محدودة ومتسقة تمامًا؟

والمحدودية ليست هي المثال الوحيد في نظرية الأوتار عن حدس يتم تصديقه على نطاق واسع ولم يتم إثبات صحته حتى الآن. كما ناقشنا، هناك أنواع متعددة من حدس مالداسينا في أدبيات المجال، ولها تضمينات مختلفة جدًا. ما هو مؤكد أن أقوى أنواع الحدس هذه بعيد عن أن يكون قد تم إثباته، رغم أن بعض الأنواع الضعيفة مدعومة جيدًا بالتأكيد. لكن بعض علماء نظرية الأوتار لا يرون أن الأمر كذلك. في مراجعة حديثة لحدس مالداسينا، يقارنه جاري هورفيتز وجوزيف بولشنسكي بحدس مشهور لم يتم حله في الرياضيات، هو فرضية رينمان.

باختصار، نرى سببا مقنعا لوضع [حدس مالداسينا عن الازدواجية] في تصنيف صحيح ولكن لم يتم إثباته. بالفعل، ننظر إليه بنفس منزلة التخمينات الرياضية مثل فرضية رينمان. كلاهما يقدم روابط غير متوقعة بين بنى تبدو مختلفة.. وكل منهما قاوم البرهنة أو عدم البرهنة رغم الاهتمام المركز(١٦).

لم أسمع أبدًا أي عالم رياضيات يشير إلى أى نتيجة باعتبارها "صحيحة لكن لم يتم إثباتها"، لكن بالإضافة إلى ذلك، ما يثير الدهشة حول هذا التأكيد هو أن كاتبين، وهما شخصان ذكيان جدًا، يتجاهلان اختلافًا واضحًا بين الحالتين اللتين يناقشانهما. نحن نعرف أن البنيتين المرتبطتين بفرضية ريمان توجدان رياضيًا، وما يتم السؤال عنه هو فقط علاقة تم تخمينها بينهما. لكننا لا نعرف أن أيا منهما نظرية أوتار أو نظريات قياس فائقة التماثل توجد بالفعل باعتبارها بنى رياضية، وبالفعل، وجودهما هو جزء مما نتساءل عنه. ما يجعل هذا المقتطف واضحًا هو أن الكاتبين يجادلان من افتراض أن نظرية الأوتار هي بنية رياضية معرّفة جيدًا – رغم الاتفاق الواسع على أنها حتى لو كانت صحيحة، ليس لدينا أية فكرة عن ماهية هذه البنية. إذا لم تقدم هذا الافتراض الذي لم تتم البرهنة عليه، عندئذ يجب ألا يتفق تقييمك لدليل النوع القوي من حدس مالداسينا مع تقييمهما.

عندما يتعلق الأمر بتعريف اعتقادهم بحالات الحدس غير المثبتة هذه، يلاحظ علماء نظرية الأوتار غالبًا أن شيئا ما "يتم الاعتقاد فيه بشكل عام" في جماعة نظرية الأوتار، أو أنه "ليس هناك شخص مطلع يشك في أن هذا صحيح". يبدو أنهم يشعرون بأن الجانبية تجاه الإجماع العام في جماعتهم متكافئ مع الدليل العقلي. وفي ما يلي مثال نموذجي، من موقع إلكتروني لعالم نظرية أوتار مشهور:

أي شخص لم يكن نائمًا طوال السنوات الست الماضية يعرف أن الجانبية الكمية في فضاء سيتر المضاد التقاربي لها تطور أحادي للزمن.. مع التراكم الضخم للأدلة لـــ AdS/CFT، أشك في أنه لازال هناك الكثير

ممن يعيقونها الذين يشكون في أن القول السابق صحيح، ليس فقط في الحد شبه التقليدي الذي يضعه هاوكنج في اعتباره، ولكن في كل نظرية الاضطراب[١٢]. (الحروف المائلة من عندي)

ليس شعورًا جيدًا الاعتراف بأن المرء أحد الذين يعيقون، لكن هذا ما يضطرني الفحص التفصيلي للأدلة على فعله.

موقف الفارس الشهم هذا نحو دعم دقيق لحالات الحدس المهمة ضار لعدة أسباب. أولاً، بمشاركة النزعات السابق وصفها، يعنى هذا أن لا أحد تقريبًا يعمل على هذه المشاكل المفتوحة المهمة – مما يجعل الأكثر ترجيحًا أنها ستظل بدون حل. وهو يؤدي أيضًا إلى تآكل الأخلاق ومناهج العلم، لأن جماعة كبيرة من الأشخاص الأذكياء يرغبون في الاعتقاد في صحة حالات الحدس المهمة بدون المطالبة برؤيتها وقد تمت البرهنة على صحتها.

يضاف إلى ذلك، عندما يتم اكتشاف نتائج عظيمة، غالبًا ما تتم المبالغة فيها. سألني عدة علماء من خارج نظرية الأوتار عن سبب عملي على أي شيء آخر، عندما فسرت نظرية الأوتار بشكل كامل إنتروبيا الثقب الأسود. بينما أنا معجب إلى حد كبير بالعمل على الثقوب السوداء المتطرفة بواسطة سترومنجر وفافا وآخرين (انظر الفصل ٩)، عليّ أن أكرر على نحو مضجر أن النتائج الدقيقة، لما يبدو أنه أسباب جيدة، لم يتم تمديدها إلى الثقوب السوداء بشكل عام.

بالمثل، الزعم بأن عددًا هائلاً من علماء نظرية الأوتار يتعايشون مع ثابت كوني موجب (الذي تكثر مناقشته على أنه "مشهد") بعيد تمامًا عن أن يكون محكمًا. ورغم ذلك يرغب بعض من قادة علماء نظرية الأوتار، على أساس هذه النتائج الضعيفة، في تقديم تصريحات ضخمة حول نجاح نظرية الأوتار واحتمالات المستقبل.

قد يكون أمرًا طيبًا أن المبالغة المستمرة كانت في عون نظرية الأوتار ضد منافسيها. لو كنت رئيسًا لقسم أو موظفًا في وكالة منح، أليس من المرجح أن تمول أو توظف عالمًا يعمل على برنامج يقال إنه يحل المشاكل الكبيرة في المجال أكثر من أن تفعل ذلك مع عالم يمكنه القول فقط إن لديه أدلة على احتمال وجود نظرية ما – حتى الآن لم تتم صياغتها – ولديه القدرة على حل المشاكل؟

دعني ألخص الأمر، حتى يمكننا أن نرى إلى ماذا يأخذنا ذلك. نتج عن المناقشة سبعة مظاهر غير عادية لجماعة نظرية الأوتار.

١- الثقة الهائلة بالنفس، التي تؤدي إلى شعور بحق الحصول على اعتمادات والانتماء إلى جماعة صفوة من الخبراء.

٢- جماعة منفردة وصلبة وغير عادية، بشعور قوي بالإجماع العام، سيان كان دافعه وجود دليل أم لا، واتساق غاير عادي في وجهات النظر حول الأسئلة المفتوحة. وتبدو وجهات النظر هذه مرتبطة بوجود بنية تراتبية حيث تملي أفكار القليل من القادة وجهة النظر، والاستراتيجية، واتجاه المجال.

٣- في بعض الحالات، شعور بالارتباط مع الجماعة، يشبه الارتباط بالإيمان الديني أو بالبيان السياسي.

٤- شعور قوي بالحدود بين الجماعة والخبراء الآخرين.

٥- استخفاف وعدم اهتمام بأفكار، وآراء، وعمل الخبراء الذين لا يعتبرون جزءًا من الجماعة، وتفضيل الحديث فقط مع الأعضاء الآخرين في الجماعة.

٦- ميل إلى تفسير الدليل بشكل متفائل، لتصديق أقوال مغالى فيها أو غير صحيحة حول النتائج، وللاستخفاف باحتمال أن تكون النظرية خاطئة. ويقترن ذلك بالميل نحو تصديق أن النتائج صحيحة لأنه "يتم تصديقها على نطاق واسع"، حتى لو لم يفحص المرء البرهان بنفسه (أو يراه).

٧- نقص في تقدير مدى ما يجب أن يحتوي عليه برنامج البحث على مخاطر.

بالطبع، لا يمكن وصف كل علماء نظرية الأوتار بهذه الطريقة، لكن قلة من الملاحظين، داخل وخارج جماعة نظرية الأوتار، سيعترضون على أن بعض أو كل هذه المظاهر تميز الجماعة.

أريد أن أكون واضحًا في أنني لا أنتقد سلوك أفراد معينين. الكثير من علماء نظرية الأوتار متحررون وناقدون لأخطائهم، وإذا تم سؤالهم سيقولون إنهم يستنكرون هذه الصفات في جماعتهم.

ويجب أن أكون واضحًا أيضًا في أن لديّ عيوبي مثلي مثل زملائي في نظرية الأوتار. لعدة سنوات، اعتقدت أن التخمينات الأساسية مثل المحدودية قد تمت البرهنة عليها. وهذا على العموم سبب أنني استثمرت سنوات في العمل في نظرية الأوتار. أكثر من مجرد عملي الخاص قد تأثر، لأنه بين جماعة من الأشخاص يعملون على الجاذبية الكمية، كنت المدافع القوي عن أخذ نظرية الأوتار مأخذًا جادًا. ورغم ذلك لم أستغل الوقت في فحص الأدبيات، لذلك فإنني، أيضًا، كنت أرغب في ترك قادة جماعة نظرية الأوتار يقومون بالتفكير النقدي من أجلي. وخلال السنوات عملت على نظرية الأوتار، وكنت أهتم بدرجة كبيرة بما يفكر فيه قادة الجماعة في ما يتعلق بعملي. تمامًا مثل مراهق، رغبت في أن يتقبلني هؤلاء الذين كانوا الأكثر تأثيرًا على دائرتي الصغيرة. لو أنني لم آخذ بالفعل بنصيحتهم ولم أكرس حياتي للنظرية، فذلك يعود فقط إلى أنه كان لديّ خطة عنيدة تكسب عادة هذه المواقف. بالنسبي لي، ليست هذه قضية "نحن" في مواجهة "هم"، أو صراع بين جماعتين للهيمنة. تلك مشاكل شخصية إلى حد كبير، التي كنت أصارعها داخليًا منذ أن كنت عالمًا.

لذلك كنت أتعاطف بقوة مع مأزق علماء نظرية الأوتار، الذين رغبوا في أن يكونوا علماء جيدين، وأن يجدوا استحسانًا لدى الأشخاص الأقوياء في مجالهم. فهمت صعوبة التفكير بوضوح وباستقلال عندما يتطلب القبول في جماعتك تصديق مجموعة معقدة من الأفكار التي لا تعرف كيف تبرهن أنت نفسك على صحتها. هذا فخ قضيت سنوات وأنا أفكر في كيفية الخروج منه.

كل هذا كان يدعم اقتناعي بأننا نحن علماء الفيزياء النظرية كنا نعاني من مشكلة. لو أنك سألت الكثير من علماء نظرية الأوتار عن سبب أن العلماء الذين يعملون على بدائل لنظرية الأوتار لم تتم دعوتهم أبدًا لمؤتمرات نظرية الأوتار، سوف يتفقون معك على أنه يجب دعوة هؤلاء الأشخاص، وسوف يستنكرون حال الأمور الراهنة، لكنهم سيصرون على أنه ليس لديهم ما يفعلونه لعلاج هذا الأمر. لو سألتهم عن سبب أن جماعات نظرية الأوتار لا يوظفون أبدًا شبابًا يعملون على بدائل كمنخرطين في الدراسات العليا أو الهيئات الجامعية أو دعوتهم كزائرين، سيتفقون معك على أنه قد يكون من الجيد فعل ذلك، وسوف يأسون على حقيقة أنه لا يتم فعل ذلك. الموقف هو حيث توجد قضايا كبيرة يتفق الكثيرون عليها لكن لا أحد يشعر بأنه مسئول عنها.

أؤمن بقوة بأصدقائي في نظرية الأوتار. وأعتقد كفرد، أنهم جميعًا تقريبًا أكثر انفتاحًا وأكثر انتقادًا للنفس وأقل دوجماتية عنهم عندما يكونون معًا.

كيف يمكن لجماعة أن تعمل بهذه الطريقة التي تتعارض مع ود وحكمة أعضائها الأفراد؟

يتضح أن علماء الاجتماع ليس لديهم أية مشكلة في التعرف على هذه الظاهرة. إنها تصيب جماعات الخبراء أصحاب السلطة العالية، الذين يتواصلون بين أنفسهم فقط بالانتقاء أو حسب الظروف. ولقد تمت دراسة ذلك في سياق وكالات الاستخبارات وهيئات صنع السياسيات الحكومية والشركات الكبرى. ولأن العواقب تكون درامية أحيانًا، هناك أدبيات تصف هذه الظاهرة، والتي يُطلق عليها التناغم الجماعي groupthink.

ويعرّف عالم الاجتماع من يال إرفينج جانيس Irving Janis، الذي صاغ هذا التعبير في السبعينيات، التناغم الاجتماعي بأنه "أسلوب في التفكير يستخدمه الأشخاص عندما يشتركون بعمق داخل الجماعة المتماسكة، وعندما تتم السيطرة على مساعي الأعضاء من أجل الوفاق التام لحوافزهم لتقدير مسارات الأفعال البديلة"(١٨). تبعًا لهذا التعريف، يحدث التناغم الجماعي فقط عندما يكون التماسك مرتفعًا. وهو يتطلب من الأعضاء المشاركة في "شعور جيد" قوي بالتكاتف ورغبة في الاستمرار في العلاقات داخل الجماعة بأي ثمن. عندما يعمل الزملاء بأسلوب التناغم الجماعي، فإنهم يطبقون تلقائيًا اختبار "حماية تناغم الجماعة" في كل قرار يواجهونه(١٩).

كان جانيس يدرس حالات الفشل في اتخاذ القرار لدى جماعات خبراء، مثل خليج الخنازير Bay of Pigs. ومن ثم تم تطبيق هذا التعبير على الكثير من الأمثلة الأخرى، بما في ذلك فشل ناسا في منع كارثة شالنجر، وفشل الغرب في توقع انهيار الاتحاد السوفييتي، وفشل شركات السيارات الأمريكية في التنبؤ بالطلب على السيارات الأصغر، وأكثر حداثة – وربما الأكثر إثارة للفاجعة – اندفاع إدارة بوش للحرب على أساس اعتقاد خاطئ بأن لدى العراق أسلحة دمار شامل.

وها هنا وصف لتناغم جماعي مقتطف من موقع جامعة أوريجون ستيت يتعامل مع الاتصال:

يرى أعضا التناغم الجماعي أنفسه كجزء من عصبة تعمل ضد من هم خارج الجماعة الذين يتناقضون مع أهدافها. يمكنك معرفة أن جماعة ما تعاني من تناغم جماعي لو أنها:

١- تبالغ في تقدير مناعتها ضد الهجوم أو في موقفها الأخلاقي،

٢- تبرر بشكل جماعي القرارات التي تتخذها،

٣- تقلل من قيمة أو تقولب الجماعات خارجها وقادتها،

٤- لديها ثقافة توافق حيث يراقب الأفراد أنفسهم والآخرون بحيث تتم المحافظة على المظهر الخارجي للوفاق التام للجماعة،

٥- تحتوي على أعضاء يعاهدون أنفسهم على حماية قائد الجماعة بالمحافظة على المعلومات، معلوماتهم أو معلومات أعضاء الجماعة الآخرين، عن القائد[٢٠].

هذا لا يتلاءم مع توصيفي لثقافة نظرية الأوتار، لكنه قريب بما يكفي لإثارة القلق.

بالطبع، لن يكون لدى علماء نظرية الأوتار أية مشكلة في الإجابة على هذا النقد. يمكنهم الإشارة إلى الكثير من الأمثلة التاريخية التي توضح أن تقدم العلم يعتمد على تأسيس إجماع عام راسخ بين جماعة الخبراء. ويجب تجاهل وجهات نظر الخارجين عن الجماعة لأنهم ليسوا بالمهارة الكافية في أدوات الحرفة لتقييم دليل والانتهاء إلى قرار. وتبعًا لذلك فإن الجماعة العلمية

يجب أن تكون لديها آليات لتأسيس وتقوية الإجماع العام. وما قد يبدو مشابهًا للتناغم الجماعي بالنسبة لمن هو خارج الجماعة يكون في الحقيقة صوابا في التفكير، يتم عرضه تبعًا لقواعد ملزمة بإحكام.

يمكنهم أيضًا الرد على تهمة أنهم يجعلون الإجماع العام لجماعة الأبحاث لديهم بديلاً للتفكير النقدي للأفراد. تبعًا لأحد علماء علم اجتماع العلم البارزين الذين ناقشت ذلك معهم، فإن حقيقة أن التخمينات المهمة يتم تصديقها دون البرهنة على صحتها ليس أمرًا غير عادي[٢١]. لا يمكن لأي عالم أن يثبت بشكل مباشر أكثر من جزء صغير من نتائج التجربة، ومن الحسابات، وأن يبرهن على هذا النوع من أسس معتقداتهم حول موضوعهم، قلة من لديهم هذه المهارات، وفي العلم المعاصر ليس لدي أي شخص الوقت اللازم لذلك. هكذا، عندما تنضم إلى جماعة علمية، عليك أن تثق في زملائك عندما يخبرونك بالحقيقة حول النتائج في نطاق خبرتهم. قد يؤدي ذلك إلى أن تخمينًا ما يتم قبوله باعتباره حقيقة، لكنه يحدث غالبًا في برامج الأبحاث التي تعتبر ناجحة في نهاية الأمر كما يحدث في تلك التي تفشل. فقط لا يمكن إنجاز العلم المعاصر بدون جماعة من الأشخاص الذين يثقون في ما يقوله لهم أعضاء الجماعة. لذلك، بينما يجب الأسف على مثل هذه الأحداث ويجب تصحيحها عندما يتم العثور عليها، فإنها ليست في حد ذاتها مؤشرات على برنامج أبحاث مقض عليه بالهلاك أو على علم اجتماع مرض.

أخيرًا، يمكن لعلماء نظرية الأوتار الأكبر سنًا القول بأنهم يستحقون ما يحرزون من ثقة ومعهم يأتي حق البحث المباشر كما يجدونه مناسبًا. على

أي حال، تقوم ممارسة العلم على المشاعر الحدسية، وهذا هو شعورهم الحدسي. هل يجدهم أحد يبددون وقتهم وهم يعملون على شيء ما لا يؤمنون بصحته؟ وهل عليهم توظيف أشخاص يعملون على نظريات غير تلك التي يصدقون أن لها أفضل فرصة للنجاح؟

لكن كيف يرد المرء على هذا الدفاع؟ لو أن العلم يقوم على الإجماع العام بين جماعة الخبراء، عندئذ يكون ما تجده في نظرية الأوتار هو جماعة خبراء يتفقون بشكل رائع على الصحة النهائية للنظرية التي يدرسونها. هل هناك أي أساس منطقي للوقوف عليه – أية طريقة للارتفاع عن خلاف ذكي ومفيد؟ نحتاج إلى إنجاز أكثر من الدوران حول "التناغم الجماعي". يجب أن تكون لدينا نظرية حول ماهية وكيفية إنجاز العلم، نظرية تُظهر بوضوح كيف يكون أمرًا سيئًا للعلم عندما يحدث أن تهيمن جماعة خاصة على المجال قبل أن تكون نظريتها قد مرت باختبارات البرهنة العادية. تلك هي المهمة التي نتحول إليها الآن.

١٧

ما العلم؟

لجعل الميول المثيرة للمشاكل في الفيزياء تنعكس، علينا أولاً فهم ماهية العلم – ما الذي ينقله إلى الأمام وما الذي يمسك به إلى الخلف. ولفعل ذلك، علينا تعريف العلم باعتباره شيئًا أكثر من مجموع ما ينجزه العلماء. وهدف هذا الفصل هو اقتراح مثل هذا التعريف.

عندما دخلت كلية التخرج في هارفارد في ١٩٧٦، كنت طالبًا عديم الخبرة من كلية صغيرة. كنت في حالة هيبة من أينشتاين، وبور، وهيزنبرج، وشرودنجر وكيفية تغييرهم للفيزياء من خلال قوة تفكيرهم الجذري. كنت أحلم، كما يفعل الشباب، بأن أكون واحدًا منهم. والآن أجد نفسي في مركز فيزياء الجسيمات، محاطًا بالقادة في المجال – أشخاص مثل سيدني كولمان، شيلدون جلاشو، وستيفن وينبرج. هؤلاء الأشخاص كان أذكياء إلى حد لا يُصدق، لكنهم لم يشبهوا الأبطال. في المحاضرات، لم أسمعهم أبدًا يتكلمون عن الطبيعة والمكان والزمن أو قضايا في أسس ميكانيكا الكم. ولم أقابل أيضًا الكثير من الطلاب لديهم هذه الاهتمامات.

قادني ذلك إلى أزمة خاصة. لم أكن بالتأكيد مجهزًا بشكل جيد مثل الطلاب من الجامعات الكبرى، لكنني أنجزت أبحاثًا مثل أي طالب غير

متخرج، وهو ما لم يفعله أغلب أندادي، وعرفت أنني طالب سريع البديهة. لذلك كنت مقتنعًا بأنه يمكنني إنجاز العمل. لكن كان لدي أيضًا فكرة خاصة جدًا حول ما يجب أن يكون عليه عالم نظريات الفيزياء العظيم. علماء نظريات الفيزياء العظماء الذين كنت ألتقي بهم في هارفارد كانوا بالأحرى مختلفين عن ذلك. لم يكن الجو فلسفيًا، لكنه كان صارمًا وعدوانيًا، يهيمن عليه أشخاص غلاظ، مختالون، وواثقون من أنفسهم، وفي بعض الحالات يتصرفون بعجرفة تجاه من يختلفون معهم في الرأي.

خلال ذلك الوقت، عقدت صداقات مع فيلسوفة علم شابة اسمها إميليا ريشيل-كون Amelia Rechel-Cohn. ومن خلالها، عرفت أشخاصًا كانوا، مثلي، يهتمون بالقضايا الفلسفة والأساسية العميقة في الفيزياء. لكن هذا جعل الأمور أسوأ فقط. كانوا أكثر رقة من علماء الفيزياء النظرية، لكن بد أنهم سعداء بالتحليل الدقيق للقضايا المنطقية فحسب في أسس النسبية الخاصة أو فيزياء الكم العادية. كان لدى القليل من الصبر على مثل هذه المحادثات، وكنت أرغب في ابتكار نظريات، وليس نقدها، وكنت متأكدًا من أنهم - ليسوا بالطيش الذي بدا عليه مبتكرو النموذج المعياري - يعرفون الأمور التي أحتاج إلى معرفتها لو كان عليّ الاتجاه إلى أي مكان.

بمجرد أن بدأت التفكير الجاد في تركهم، أعطتني إميليا كتابًا للفيلسوف بول فيرابيند Paul Feyerbend. كان عنوانه "ضد المنهج" وتحدث معي - لكن ما كان عليه قوله لم يكن مشجعًا إلى حد كبير. كان ضربة لسذاجتي وانهماكي في الشؤون الذاتية.

كان ما قاله كتاب فيرابيند لي هو: انظر، أيها الصغير، توقف عن الحلم! ليس العلم فلاسفة يجلسون في السحب. إنه نشاط إنساني، بتعقد وإشكالية أي نشاط آخر. ليس هناك منهج وحيد للعلم ولا معيار واحد لمن يكون العالم الجيد. العالم الجيد أيًا كان يعمل في لحظة خاصة من التاريخ لتطوير معارفنا. ولا تزعجني بكيفية تعريف التقدم – عرفه بأية طريقة تحبها ويظل الأمر صحيحا.

من فيربيند، تعلمت أن التقدم هو أمر يتطلب التفكير الفلسفي العميق، لكن في أغلب الأحوال لا يحدث ذلك. وغالبًا ما يتم تعزيزه بأشخاص انتهازيين يختصرون الطرق، مبالغين في ما يعرفونه وما أنجزوه. كان جاليليو أحد هؤلاء، والكثير من أدلته كانت خاطئة، وخصومه – المتعلمين جيدًا، اليسوعيين المتأملين فلسفيًا علماء الفلك في زمنه – كان يثقبون الفجوات في تفكيره. ورغم ذلك، كان على حق وكانوا هم المخطئون.

ما تعلمته أيضًا من فيرابيند أيضًا هو أنه لا يمكن لأي حجة مسبقة أن تخبرنا بما سينجح في كل الأحوال. ما ينجح في تطوير العلم في لحظة ما سيكون خطأ في لحظة أخرى. وعرفت شيئًا آخر من قصصه عن جاليليو: عليك أن تحارب من أجل ما تعتقد في صحته.

لم تكن رسالة فيرابيند سوى نداء إيقاظ في حينها تمامًا. لو كنت أرغب في إنجاز علم جيد، كان عليّ إدراك أن الأشخاص الذين أسعدني بما يكفي الدراسة معهم كانوا بالفعل علماء عظماء لهذا الزمن. ومثل العلماء العظماء،

نجحوا لأن أفكارهم كانت صحيحة وحاربوا من أجلها. لو كانت أفكارك صحيحة وحاربت من أجلها، سوف تنجز شيئًا. لا تبدد الوقت في الشعور بالأسف على نفسك أو في تنمية الحنين تجاه أينشتاين وبور. لا أحد غيرك يمكنه تطوير أفكارك، ولا أحد غيرك سيحارب من أجلها.

قمت بمسيرة طويلة وقررت البقاء في العلم. وما أسرع ما وجدت أنني يمكنني القيام ببحث حقيقي لتطبيق مناهج يستخدمها علماء فيزياء الجسيمات لحل مشكلة الجاذبية الكمية. لو أن هذا كان يعني ترك القضايا الأساسية، لبعض الوقت، جانبًا، كان من المدهش، رغم ذلك، أن أستطيع ابتكار صياغات جديدة وإجراء بعض الحسابات فيها.

لشكره على إنقاذ مهنتي، أرسلت نسخة من رسالة الدكتوراه الخاصة بي إلى فيرابيند. ردًا عليها، أرسل لي كتابه الجديد "العلم في مجتمع حر" ١٩٧٩، مع ملاحظة تدعوني إلى البحث عنه إذا كنت في أي وقت في بيركلي. بعد ذلك بعدة أشهر، حدث أن كنت في كاليفورنيا لحضور مؤتمر عن فيزياء الجسيمات وحاولت تقفي أثره، لكن هذا تطلب خطة. لم يكن لديه ساعات يقضيها في المكتب في الجامعة، بل لم يكن لديه مكتب بالفعل. ضحك سكرتير قسم الفلسفة عندما سألت عنه ونصحني أن أحاول العثور عليه في البيت. كان هناك بجانبى دليل الهاتف، في ميلر أفيني في بيركلي هليز. استجمعت شجاعتي، وطلبت الرقم، وسألت بأدب عن البروفيسور بول فيرابيند. أيًا كان الموجود على الطرف الآخر صاح "البروفيسرو بول فيرابيند! هذا هو بول فيرابيند الآخر. يمكنك أن تجده في الجامعة". وأعاد

غلق الهاتف. لذلك زرت دون موعد أحد فصوله الدراسية، ووجده سعيدًا بالحديث معي لاحقًا، ولو لمدة وجيزة. لكن في الدقائق القليلة التي أتاحها لي، قدم لي نصيحة لا تقدر بثمن. "نعم، العالم الأكاديمي معوج، وليس هناك ما يمكنك فعله تجاه ذلك. لكن لا تقلق من هذا الأمر. فقط افعل ما ترغب فيه. لو أنك تعرف ما ترغب في فعله وتدافع عنه، لن ينفق أي شخص جهدًا في إيقافك".

بعد ذلك بستة أشهر، كتب لي ملاحظة ثانية، وصلتني في سانتا باربارا، حيث كنت قد قبلت منذ وقت قريب وظيفة أكاديمية في معهد الفيزياء النظرية. أشار إلى أنه كان يتحدث مع طالب موهوب لم يتخرج بعد وكان لديه، مثلي، اهتمامات فلسفية. هل أحب أن أقابله وأنصحه بكيفية مواصلة عمله؟ ما كنت أرغب فيه حقًا هو فرصة أخرى للحديث مع فيرابيند، لذلك ذهبت إلى بيركلي من جديد وقابلت الاثنين على عتبات مبنى الفلسفة (وهو، على ما يبدو، كان أقرب ما يكون لزملائه). متعنا فيرابيند بوجبة غداء في شي بانيز، ثم صحبنا إلى بيته (والذي اتضح أنه في ميلر أفيني، في بيركلي هيلز) بحيث استطعت أنا والطالب الحديث بينما كان يراقب حلقته التليفزيونية المفضلة. في الطريق، شاركت في المقعد الخلفي لعربة فيرابيند الرياضية الصغيرة مع الطوف القابل للنفخ الذي يحتفظ به في هذا المكان في حالة حدوث زلزال قوته ٨ درجات، بينما يكون هو على باي بريدج.

الموضوع الأساسي الذي تطرق إليه فيرابيند كان إعادة التنسيق، وهو طريقة التعامل مع اللانهائيات في نظرية المجال الكمي. اندهشت عندما وجدت أنه يعرف الكثير جدًا من الفيزياء المعاصرة. لم يكن ضد العلم، كما

لمح بعض من أساتذتي في هارفارد. كان من الواضح أنه أحب الفيزياء، وكان أكثر اطلاعًا على التقنيات أكثر من أغلب الفلاسفة الذين قابلتهم. سمعته كمعاد للعلم برزت دون شك لأنه يعتبر السؤال حول سبب نجاح العلم لم تتم الإجابة عنه. هل يعود ذلك إلى أن العلم ليس لديه منهج؟ هذا ما يفعله العرافون.

ربما الفرق، كما خمنت، هو أن العلم يستخدم الرياضيات. وكذلك يفعل علم التنجيم، أجاب، ولعله كان سيشرح تفاصيل نظم الحوسبة المختلفة التي يستخدمها علماء التنجيم، لو تركناه يفعل. لم يعرف أي واحد منا ما يقوله عندما جادل بأن جوهانس كبلر، أحد أعظم علماء الفيزياء الذين عاشوا في يوم ما، قدم الكثير من المساهمات لتقنية تحسين علم التنجيم، ولقد قضى نيوتن زمنًا في السيمياء أطول مما قضاه في الفيزياء. هل نظن أننا علماء أفضل من كبلر ونيوتن؟

كان فيرابيند مقتنعًا بأن العلم نشاط إنساني، يقوم به أشخاص انتهازيون لا يتبعون منطقًا عامًا أو منهجًا ويقضون أي وقت لزيادة المعارف (أيًا كان تعريفك لها). لذلك فإن سؤاله الأهم كان: كيف يعمل العلم، ولماذا يعمل بهذه الجودة الكبيرة؟ حتى رغم أنه رد على كل تفسيراتي الخاصة، شعرت بأنه يلاحق السؤال بحماس ليس لأنه ضد العلم ولكن لأنه يهتم به.

مع تقدم النهار، أخبرنا فيرابيند بقصته. كان معجزة فيزيائية وهو مراهق في فيينا، لكن تم اختصار دراساته عندما تم اختياره للخدمة العسكرية للحرب في الحرب العالمية الثانية. جُرح في الجبهة الروسية ثم انتهى به

الأمر في برلين بعد ذلك، حيث وجد عملاً بعد الحرب كممثل. بعد وقت ما، ضجر من عالم المسرح وعاد إلى دراسة الفيزياء في فيينا. انضم إلى نادي الفلسفة، حيث اكتشف أنه يستطيع أن ينتصر على أي جانب من مجادلة فلسفية باستخدام المهارات التي تعلمها في مهنة التمثيل. جعله هذا يشك في ما إذا كان النجاح الأكاديمي له أي أساس منطقي. في يوم ما، نجح الطلاب في دعوة لدفيج فيتجنشتاين Ludwig Wittgenstein لكي يأتي إلى ناديهم. كان متأثرًا بقوة حتى إنه قرر أن ينتقل إلى الفلسفة. تكلم مع ويتنجشتاين، الذي دعاه إلى الذهاب إلى كامبردج للدراسة معه. لكن في الوقت الذي ذهب فيه فيرابيند إلى إنجلترا، كان ويتجنشتاين قد مات، لذلك اقترح عليه شخص ما أن يتحدث مع كارل بوبر Karl Popper، المغترب الآخر من فيينا، الذي كان يدرس في معهد لندن للاقتصاد. لذلك انتقل إلى لندن وبدأ حياته في الفلسفة بكتابة بحث يهاجم أعمال بوبر.

بعد سنوات قليلة، عُرضت عليه وظيفة تدريس. سأل أحد الأصدقاء كيف يكون من المحتمل له أن يعلّم، مع وضع معرفته القليلة في الاعتبار. قال له الصديق إن يكتب ما يعتقد أنه يعرفه. وملأ ذلك قطعة ورق واحدة. عندئذ قال له الصديق أن عليه أن يكتب الجملة الأولى في موضوع المحاضرة الأولى، والجملة الثانية من موضوع المحاضرة الثانية..إلخ. وهكذا فإن طالب الفيزياء الذي تحول إلى جندي ثم تحول إلى ممثل أصبح بروفيسور فلسفة(١).

عاد بنا فيرابيند إلى حرم جامعة بيركلي. قبل أن يتركنا، قدم لنا آخر نصيحة. "فقط افعل ما ترغب في فعله ولا تعطي أي اهتمام لأي شيء آخر. لم أقض في مهنتي أبدًا خمس دقائق أفعل شيئًا لا أرغب في فعله".

هذا تقريبًا ما فعلته. حتى الآن. والآن أشعر بأننا لم نتكلم فقط حول الأفكار العلمية، ولكن أيضًا عن التقدم العلمي. ليس هناك خيار. لدينا مسؤولية تجاه الأجيال القادمة في التفكير حول سبب أننا كنا أقل نجاحًا بكثير من معلمينا.

منذ زيارتي لفيرابيند، الذي توفي في ١٩٩٤ في سن السبعين، قمت بتعليم عدة شباب موهوبين خلال أزمات مثل أزمتي الخاصة. لكنني لم أستطع أن أخبرهم ما أخبرت به نفسي وأنا أصغر سنًا - أن الأسلوب المهيمن كان ناجحًا بصورة تثير الغرابة إلى حد كبير حتى إنه من الواجب احترامه والتكيف معه. والآن عليّ أن أتفق مع زملائي الأكثر شبابًا على أن الأسلوب المهيمن لا ينجح.

أولاً وقبل كل شيء، أسلوب إنجاز العلم الذي تعلمته في هارفارد لم يقدني إلى المزيد من التقدم. لقد نجح في تأسيس النموذج المعياري لكنه فشل في الذهاب إلى ما هو أبعد منه. بعد ثلاثين سنة، يجب أن نسأل ما إذا كان هذا الأسلوب قد عمر، حتى الآن، أكثر من نفعه. ربما تتطلب هذه اللحظة أكثر من الأسلوب التأملي، والمخاطر، والفلسفي لأينشتاين وأصدقائه.

المشكلة أوسع بكثير من نظرية الأوتار، فهي تتضمن قيم ومواقف رعتها جماعة الفيزياء ككل. لكن ببساطة، فإن كل جماعة الفيزياء مبنية بطريقة بحيث يكون لبرامج البحث الكبيرة التي تروج لنفسها بعدوانية ميزة

على البرامج الأصغر التي تقدم مزاعم أكثر حذرًا. لذلك، يكون لدى العلماء الأكاديميين الشباب أفضل فرصة للنجاح لو أنهم أثاروا إعجاب الأكبر سنًا بحلول تقنية لطيفة للمشاكل طويلة الأمد التي طرحتها برامج الأبحاث المهيمنة. وفعل العكس – التفكير العميق وبشكل مستقل ومحاولة صياغة الأفكار الخاصة بالمرء – هو استراتيجية فقيرة للنجاح.

هكذا تجد الفيزياء نفسها عاجزة عن حل مشاكلها المهمة. إنه الوقت لعكس المسار – لتشجيع برامج الأبحاث الجديدة الصغيرة والمغامرة وإعاقة المقاربات التي تتعدى على غيرها. يجب أن نعطي الميزة لأتباع أينشتاين – الأشخاص الذين يفكرون بأنفسهم ويتجاهلون الأفكار الراسخة للعلماء الأكبر سنًا الأقوى.

لكن لإقناع الشكاك، علينا الإجابة عن سؤال فيرابيند حول كيفية عمل العلم.

يبدو أن هناك وجهتي نظر متناقضتان عن العلم. إحداهما عن العلم كنطاق للتمرد، الفرد الذي يأتي بأفكار جديدة عظيمة ويعمل بجد طوال الحياة لإثبات صحتها. تلك هي أسطورة جاليليو، ونراها تمضي إلى نهايتها اليوم في جهود قلة من العلماء الذين يتلقون إعجابًا كبيرًا، مثل عالم الفيزياء الرياضي روجر بينروز، وعالم نظريات التعقد ستيوارت كوفمان Stuart Kauffman، وعالم البيولوجيا لين مارجاليس Lynn Margulis. ثم هناك وجهة نظر عن العلم باعتباره محافظًا، جماعة الإجماع التي تسمح بانحراف ضئيل عن التفكير التقليدي وتوجه طاقة خلاقة في تعزيز برامج الأبحاث واضحة المعالم.

إلى حد ما، كلا وجهتي النظر صحيحة. يتطلب العلم كلاً من المتمرد والمحافظ. يبدو هذا متناقضًا للوهلة الأولى. كيف كان لمشروع ازدهر لقرون أن يتطلب أن يتعايش معًا المحافظ والمتمرد؟ يبدو أن الخدعة كانت في جعل المتمرد والمحافظ يستمران في الحياة والتقارب غير المريح، في جماعة، وإلى حد ما، في كل فرد أيضًا. لكن كيف تم إنجاز ذلك؟

العلم ديمقراطية، حيث إن لكل عالم صوتا، لكن هذا لا يشبه قاعدة الأغلبية. ومع ذلك، بينما يتم الإعلاء من شأن الحكم الفردي، يلعب الإجماع العام دورًا مهمًا. بالفعل، مال الأساس الذي يمكنني الوقوف عليه عندما تتبنى الأغلبية في مهنتي برنامج أبحاث لا يمكنني قبوله حتى رغم قبولي بأنه قد يكون في مصلحتي؟ الإجابة هي أن الديمقراطية أكثر بكثير من قاعدة للأغلبية. هناك منظومة من المثاليات تتجاوز قاعدة الأغلبية.

لذلك، لو كان علينا المجادلة بأن العلم أكثر من علم الاجتماع، وأكثر من السياسات الأكاديمية، يجب أن يكون لدينا مفهوم ماهية العلم التي تتسق معه، لكنها أكثر منه، فكرة جماعة من البشر تتحكم في نفسها. القول بأن هناك نوع خاصا من التنظيم، سلوكا خاصا، جيدا أو سيئا بالنسبة إلى العلم، لن يتيح لنا أساسًا لتقديم أحكام قيمة تذهب إلى ما هو أبعد مما هو شائع. يجب أن يكون لدينا أساس لمخالفة الأغلبية بدون أن نوصف بأننا غريبو الأطوار.

دعنا نبدأ بتقسيم سؤال فيرابيند إلى بضعة أسئلة أكثر سهولة. يمكننا القول بأن العلم يتقدم عندما يصل العلماء إلى إجماع عام حول السؤال. ما

هي الآليات التي تحكم كيفية حدوث ذلك؟ قبل الوصول إلى إجماع عام، هناك غالبًا جدال. ما قاعدة المخالفة في إعداد الطريق لتقدم علمي؟

للإجابة عن هذين السؤالين، يجب أن نعود إلى وجهات نظر الفلاسفة الأقدم. في العشرينيات والثلاثينيات، نمت حركة فلسفية في فيينا تسمى الوضعية المنطقية. تقترح الوضعية المنطقية أن التأكيدات تصبح معارف عندما يتم إثباتها بالملاحظات في العالم، ويزعمون أن المعارف العلمية هي مجموع هذه المقترحات. يتقدم العلم عندما يقدم العلماء تأكيدات يكون لها محتوى يمكن إثبات صحته، والتي يتم إثباته عندئذ. كان حافزهم تحرير الفلسفة من الميتافيزيقا، والذي ملأ كتبًا ضخمة بأقوال ليس لها علاقة بالواقع. نجحوا في ذلك جزئيًا، ولكن وصفهم المتواضع للعلم لم يستمر. كانت هناك مشاكل كثيرة، إحداها كان أنه ليس هناك توافق صارم بين ما تتم ملاحظته وما يتم الإفصاح عنه. تتسلل الافتراضات والتحيزات في أوصاف الملاحظات الأكثر بساطة. ليس عمليًا، وربما حتى لا يكون ممكنًا، تقسيم ما يقوله العلماء وما يكتبونه إلى ذرات صغيرة، يتفق كل منه مع ملاحظة منقطعة عن التنظير.

عندما فشل مذهب الإثبات، اقترح فلاسفة أن العلم يتقدم لأن العلماء يتبعون منهجًا من المضمون أنه يقود إلى الحقيقة. تم تقديم مقترحات حول المنهج العلمي بواسطة فلاسفة مثل رودلف كارناب Rudolf Carnap وبول أوبنهايم Paul Oppenheim. وقدم كارل بوبر اقتراحه الخاص، وكان أن العلم يتقدم عندما يقترح العلماء نظريات قابلة للدحض – أي، يقدمون أقوالاً يمكن

أن تتناقض معها التجربة. تبعًا لبوبر، لا يمكن أبدًا إثبات أن نظرية ما صحيحة، لكن إذا صمدت أمام محاولات كثيرة لإثبات أنها خاطئة، يمكننا البدء في الإيمان بصحتها – على الأقل حتى يتم دحضها في النهاية[٢].

بدأ فيرابيند عمله في الفلسفة بمهاجمة هذه الأفكار. على سبيل المثال، أوضح أن دحض أية نظرية ليس أمرًا بهذه السهولة. في أغلب الأحيان، يحافظ العلماء على بقاء نظرية ما بعد أن يتضح أنه تم دحضها، ويفعلون ذلك بتغيير تفسير التجربة. أو يتحدّون النتائج نفسها. يؤدي هذا أحيانًا إلى طريق مغلق لأن النظرية خاطئة بالفعل. لكن يتضح أحيانًا أن المحافظة على بقاء نظرية في مواجهة التناقض التجريبي الظاهري هو الموقف الصحيح. كيف يمكننا وصف الموقف الذي أنت فيه؟ رأى فيرابيند أنك لا يمكنك فعل ذلك. يتبنى علماء مختلفون وجهات نظر مختلفة ويوكلون أمرهم إلى ما سوف تثبت صحته مع تطور الأمور. ليست هناك قاعدة عامة لمتى يمكن التخلي عن نظرية ومتى يمكن المحافظة على بقائها.

هاجم فيرابيند أيضًا مجمل فكرة أن المنهج هو مفتاح التقدم العلمي، بأن أوضح أنه عند فترات فاصلة مهمة سوف يحرز العلماء تقدمًا بكسر القواعد. ويضاف إلى ذلك، رأى أن العلم – وهي وجهة نظر باقتناع – يتباطأ فيه العمل حتى يتوقف مع اتباع قواعد "المناهج" بشكل دائم. يوجه مؤرخ العلم توماس كون هجومًا آخر على مفهوم "المنهج العلمي" عندما يقول إن العلماء يتبعون مناهج مختلفة في أوقات مختلفة. لكنه كان أقل جذرية من فيرابيند، وحاول أن يسرد منهجين، ما يخص "العلم العادي" والثورات العلمية[٣].

نقد آخر لأفكار بوبر قدمها الفيلسوف المجري إمر لاكاتوس Imre Lakatos، الذي قال بأنه لم يكن هناك تماثل كثير بين الدحض والإثبات كما افترض بوبر. لو رأيت بجعة حمراء لامعة، ليس من المرجح أن تتخلى عن نظرية تقول بأن كل البجع أبيض، وقد تبحث بدلاً عن ذلك عن الشخص الذي لونها[٤].

تتركنا هذه الحجج مع مشاكل متعددة. الأولى أن نجاح العلم يظل يتطلب تفسيرًا، والثانية (وهي ما يؤكد عليها بوبر) أنه يصبح من الممكن التمييز بين علوم مثل الفيزياء والبيولوجيا ونظم الاعتقاد الأخرى – مثل الماركسية، والسحر، والتصميم الذكي – التي تزعم بأنها علمية[٥]. لو لم يكن من الممكن إجراء مثل هذا التمييز، يظل الباب مفتوحًا لنوع مروع من النسبوية relativism، حيث تكون لكل المزاعم بالحقيقية والواقعية أساس متساوي.

بينما أنا مقتنع، مثل الكثير من العلماء الممارسين، بأننا لا نتبع منهجًا وحيدًا، أنا أيضًا مقتنع بأن علينا الإجابة عن سؤال فيرابيند. يمكننا البدء بمناقشة الدور الذي لعبه العلم في الثقافة الإنسانية.

العلم إحدى الأدوات المتعددة للثقافة الإنسانية التي ظهرت استجابة لموقف وجدنا نحن البشر أنفسنا فيه منذ أزمنة ما قبل التاريخ: نحن، الذين يمكننا الحلم بالمكان والزمن الأبديين، بالجمال اللانهائي والصالح اللانهائي، نجد أنفسنا مغروسين في عوالم متعددة: العالم الفيزيائي، والعالم الاجتماعي، والعالم الخيالي، والعالم الروحاني. إنه لشرط للكائن الإنساني أن نجد أنفسنا نبحث طويلاً عن اكتشاف مهارات تعطينا السلطة على هذه العوالم المختلفة.

وتسمى هذه المهارات الآن العلم، والسياسة، والفن، والدين. والآن، كما في أيامنا الأولى، فإنها تعطينا السلطة على حياتنا وتشكل أساس أمانينا.

أيًا كانت تسمياتها، لم يكن هناك أبدًا مجتمع إنساني بدون علم، وسياسة، وفن ودين. في كهوف كانت حوائطها مزينة برسومات الصيادين القدامى، وجدنا عظامًا وصخورًا بأطر توضح أن الناس كانوا يحسبون في مجموعات من أربع عشرة، أو ثماني وعشرين، أو تسع وعشرين. ولقد فسر عالم الآثار ألكسندر مارشاك Alexander Marshack، مؤلف كتاب "جذور الحضارة" هذه الأشياء باعتبارها ملاحظات عن أطوار القمر(٦). وقد تكون أيضًا سجلات لطريقة مبكرة لتحديد النسل. في كلا الحالتين، فإنها توضح أنه منذ عشرين ألف سنة كانت الكائنات البشرية تستخدم الرياضيات لتنظيم تجربتهم مع الطبيعة وإعطائها مفهومًا.

لم يكن قد تم ابتكار العلم بعد. ولقد تطور مع الزمن، مع اكتشاف الناس للأدوات والعادات التي عملت على جذب العالم الفيزيائي داخل مجال فهمنا. العلم، من ثم، كان على ما هو عليه بسبب أن الطبيعة كانت على ما هي عليها – وبسبب ما نحن عليه. بحث الكثير من الفلاسفة بشكل خاطئ عن تفسير عن سبب أن العلم ينجح وهو ما يمكن تطبيقه على أي عالم ممكن. لكن قد لا يكون هناك مثل هذا الشيء. المنهج الذي يمكنه أن ينجح في أي كون ممكن قد يكون مثل مقعد يمكن أن يكون مريحًا لأي حيوان ممكن: قد يكون مناسبًا بالمثل بشكل سيئ في أغلب الحالات.

بالفعل، من الممكن إثبات صحة نوع من هذه العبارات. افترض أن العلماء يشبهون مستكشفين عميان يبحثون عن أعلى قمة في إقليمهم. لا يمكنهم أن يروا، لكن يمكنهم الشعور بما حولهم لتحديد أي طريق يصعد وأيها يهبط، ولديهم مقياس ارتفاع وعرض بيانات سمعي لتحديد مدى ارتفاعهم. لا يمكن الرؤية عندما يكونون أعلى القمة، لكنه سيعرفونها لأنه فقط هناك تؤدي كل الاتجاهات إلى أسفل. المشكلة أنه قد يكون هناك أكثر من قمة، ولو كنت لا ترى، من الصعب أن تتأكد من أنك تتسلق أعلى واحدة. لذلك ليس من الواضح ما إذا كان هناك استراتيجية يمكن للمستكشفين العميان اتباعها للعثور على أعلى قمة في أقل وقت ممكن. تلك مشكلة اعتاد علماء الرياضيات على دراستها، حتى تم إثبات أنها مستحيلة. فرضية وجبة الغداء غير المجانية no-free-lunch، التي قدمها دافيد وولبرت David Wolpert ووليام ماكريدي William Macready، تقول بعدم وجود استراتيجية في كل مشهد ممكن أفضل من التحرك ببساطة بشكل عشوائي(٧). لاختراع استراتيجية تكون أفضل، عليك معرفة شيء ما حول مشهدك. نوع الاستراتيجية التي قد تعمل بشكل جيد في نيبال قد تفشل في هولندا.

لذلك ليس من المدهش أن الفلاسفة عجزوا عن اكتشاف استراتيجية عامة قد تفسر كيفية نجاح العلم. والاستراتيجيات التي اخترعوها لم تكن تحمل أي تشابه مع ما يفعله العلم بالفعل. تم اكتشاف الاستراتيجيات الناجحة مع مرور الزمن، وهي مغروسة في ممارسات العلوم الفردية.

بمجرد فهمنا لذلك، يمكننا تحديد سمات الطبيعة التي يستغلها العلم. الأكثر أهمية أن الطبيعة مستقرة نسبيًا. في الفيزياء والكيمياء، من السهل تصميم تجارب تكون نتائجها قابلة للتكرار. لا يجب أن تكون هذه هي الحالة، على سبيل المثال، وهي أقل من أن تكون كذلك في البيولوجيا وأقل من ذلك بكثير في علم النفس. لكن في النطاقات حيث التجارب قابلة للتكرار، من المفيد وصف الطبيعة قياسًا على قوانين. بذلك، من البدايات، كان ممارسو الفيزياء مهتمين باكتشاف القوانين العامة. موضع الخلاف هنا ليس ما إذا كان هناك بالفعل قوانين أساسية، والمهم بالنسبة لكيفية إنجازنا للعمل هو ما إذا كانت هناك حالات انتظام يمكننا اكتشافها وتقديم نموذج عنها، باستخدام أدوات يمكننا صناعتها بأيدينا.

حدث أن عشنا في عالم مضياف لفهمنا، وكانت هذه حاله باستمرار. من بداية حياتنا نفسها كنوع، استطعنا أن نلاحظ بسهولة حالات انتظام في السماء وفي الفصول، في هجرات الحيوانات ونمو النباتات، وفي دوراتنا البيولوجية الخاصة. بوضع علامات على العظام والصخور تعلمنا أن في استطاعتنا المحافظة على تتبع حالات الانتظام هذه، والربط بينها، واستخدام هذه المعرفة لمصلحتنا. وصولاً إلى تجاربنا الحالية بالتلسكوبات الضخمة، والميكروسكوبات القوية، والمسارعات الأكبر فأكبر، نفعل ما كنا نفعله باستمرار: مستخدمين تقنية في متناول اليد لاكتشاف أطر تتكشف أمامنا.

لكن لو أن العلم ينجح لأننا نعيش في عالم حالات منتظمة، فإنه ينجح بطريقة خاصة بسبب بعض المميزات في بنيتنا. بشكل خاص، نحن سادة في

الحصول على استنتاجات من معلومات ناقصة. نحن نلاحظ العالم باستمرار ثم نضع تنبؤات ونصل إلى استنتاجات حولها. هذا ما فعله الصيادون – الجامعون، وهو أيضًا ما يفعله علماء فيزياء الجسيمات وعلماء الأحياء المجهرية. لم يكن لدينا أبدًا ما يكفي من المعلومات لكي نثبت بشكل كامل الاستنتاجات التي حصلنا عليها. القدرة على التعامل مع التخمينات والمشاعر الحدسية، وعلى التعامل بثقة عندما تكون هناك معلومات أشرنا إليها في مكان ما لكنها لا تشكل برهانًا، هي مهارة أساسية تجعل شخصًا ما رجل أعمال جيدا، صيادا أو مزارعا جيدا، أو عالما جيدا. وهي جزء كبير مما يجعل الكائنات البشرية جنسًا ناجحًا إلى هذا الحد.

لكن هذه القدرة تأتي بعد دفع ثمن باهظ، وهو أننا نخدع أنفسنا بسهولة. بالطبع، نعرف أن الآخرين يخدعوننا بسهولة. يتم تقبل الكذب بقوة لأنه فعال إلى حد كبير. السبب، على أي حال، هو أننا فقط مهيئون للحصول على استنتاجات من معلومات ناقصة، لذلك نستسلم إلى حد كبير للأكاذيب. يجب أن يكون موقفنا الأساسي نوعا من الثقة، لأننا لو طلبنا برهانًا على كل شيء، قد لا نؤمن أبدًا بأي شيء. ومن ثم قد لا نفعل أبدًا أي شيء – لن نغادر السرير أبدًا، ولن نتزوج، ولن نحصل على صداقات، أو حلفاء. بدون القدرة على الثقة، قد نصبح حيوانات متوحدة. اللغة فعالة ومفيدة لأننا نؤمن أغلب الوقت بأن الأشخاص الآخرين يخبروننا.

لكن الذي له أهمية مساوية، ويدعو إلى اليقظة، هو كيف أننا نخدع أنفسنا غالبًا. لا نخدع أنفسنا بشكل فردي فقط ولكن كجماعة. الميل إلى

جماعة من الكائنات البشرية لكي نؤمن بسرعة بشيء ما سيراه الأعضاء الفرديون في هذه المجموعة لاحقًا كأمر خاطئ بوضوح لهو أمر مذهل حقًا. بعض أسوأ المآسي في القرن الماضي حدثت لأن بعض الناس حسنو النية سقطوا من أجل حلول سهلة اقترحها قادة سيئون. لكن الحصول على إجماع عام هو جزء من كينونتنا، لأنه لأمر جوهري لو أن على مجموعة من الصيادين أن تنجح أو على قبيلة أن تهرب من الخطر الوشيك.

من ثم، كي تبقى جماعة، لا بد أن تكون هناك آليات للتصحيح: الأكبر سنًا الذين يكبحون تهور الشباب لأنهم لو كانوا قد تعلموا شيئًا من حياتهم الطويلة، فهي كيف كانوا على خطأ غالبًا، والشباب، الذين يتحدون المعتقدات التي تم التمسك بها واضحة ومقدسة لأجيال، عندما لا تصبح هذه المعتقدات ملائمة. لقد تقدم المجتمع الإنساني لأنه تعلم أن يطلب من أعضائه كلاً من التمرد والاحترام، ولأنه اكتشف آليات اجتماعية توازنت بمرور الزمن مع هذه الصفات.

أعتقد أن العلم هو إحدى هذه الآليات. إنه طريقة لرعاية وتشجيع اكتشاف معارف جديدة، لكن أكثر من أي شيء آخر هو مجموعة من الحرف والممارسات التي اتضح، عبر الزمن، أنها فعالة في كشف القناع عن الأخطاء. إنه أفضل أدواتنا في النضال الدائم للتغلب على ميلنا المدمج لخداع أنفسنا وخداع الآخرين.

من هذا المخطط الأولي المختصر، يمكننا أن نرى ما يشترك فيه العلم والعملية الديمقراطية معًا. تحتاج الجماعة العلمية والجماعة على نطاق واسع إلى الحصول على استنتاجات واتخاذ قرارات تقوم على معلومات ناقصة. وفي كلا الحالتين، سوف يؤدي نقص المعلومات إلى تكوين زمر تتبنى وجهات نظر مختلفة. تحتاج المجتمعات، العلمية وغيرها، إلى آليات لحل النزاعات وتسوية الخلافات في الآراء. تتطلب مثل هذه الآليات الكشف عن الأخطاء ووضع حلول جديدة لمشاكل صعبة المراس سُمح لها بأن تحل محل مشاكل أقدم. هناك الكثير من مثل هذه الآليات في المجتمعات الإنسانية، بعضها يتضمن القوة والإكراه. الفكرة الأساسية أكثر من غيرها في الديمقراطية هي أن المجتمع سوف يعمل بشكل أفضل عندما يتم حل النزاعات بشكل سلمي. ومن ثم، يشترك العلم والديمقراطية في إدراك مشترك ومأساوي بميلنا إلى خداع أنفسنا، وأيضًا الاعتقاد المتفائل بأننا كمجتمع يمكننا ممارسة التصحيحات التي تجعلنا، بمرور الزمن، أكثر حكمة بشكل جماعي من أي فرد.

الآن وقد وضعنا العلم في سياقه الصحيح، يمكننا العودة إلى السؤال عن كيفية عمله بشكل جيد إلى هذا الحد. أعتقد أن الإجابة بسيطة: لقد نجح العلم لأن العلماء يؤلفون جماعة يتم تحديدها والمحافظة عليها بالالتزام بأخلاق مشتركة. إنه الالتزام بأخلاق، وليس التزام بأي حقيقة أو نظرية خاصة، هو ما أعتقد أنه يقوم بدور التصحيح الأساسي في الجماعة العلمية.

هناك عقيدتان لهذه الأخلاق:

١- لو أنه يمكن إقرار قضية ما بواسطة أشخاص لهم إخلاص جيد، يطبقون جدلاً عقليًا على دليل متاح علنًا، عندئذ يجب النظر إليها كما تم إقرارها.

٢- لو، من جانب آخر، لم ينجح الجدل العقلاني من دليل متاح علنًا في جعل الأشخاص ذوي الإخلاص الجيد يتفقون على قضية، يجب أن يسمح المجتمع بل ويشجع هؤلاء الأشخاص على الحصول على استنتاجات متعددة.

أعتقد أن العلم ينجح لأن العلماء يلتزمون، ولو بشكل غير كامل، بهذين المبدأين. لمعرفة ما إذا كان هذا صحيحا، دعنا ننظر لبعض الأشياء التي يتطلبها منا هذان المبدآن.

- نوافق على الجدل بشكل عقلاني، وبإخلاص طيب، من دليل مشترك، إلى أية درجة من الاستنتاجات المشتركة التي نضمنها.

- كل عالم فرد حر في تطوير استنتاجاته الخاصة من الدليل. لكن كل عالم مطلوب منه أيضًا وضع حجج متطورة لهذه الاستنتاجات لاعتبارات الجماعة في مجملها. يجب أن تكون هذه الحجج معقولة وقائمة على دليل متاح لكل الأعضاء. الدليل، والوسيلة التي تم بواسطتها الحصول على الدليل، ومنطق الحجج المستخدم للوصول إلى الاستنتاجات من الدليل يجب أن تكون مشتركة وجاهزة للفحص بواسطة كل الأعضاء.

- قدرة العلماء على الوصول إلى استنتاجات ذات مصداقية من الدليل المشترك تقوم على امتلاك مهارة أدوات وإجراءات تم تطويرها خلال سنوات كثيرة. ولقد تم تعلمها لأن الممارسة توضح أنها تؤدي غالبًا إلى نتائج ذات مصداقية. كل عالم متدرب على مثل هذه المهارة يكون منتبهًا بعمق بحجم الخطأ والوهم الذاتي.

- في نفس الوقت، كل عضو في الجماعة العلمية يدرك أن الهدف النهائي هو تأسيس إجماع عام. قد يظهر الإجماع العام بسرعة، أو قد يستغرق بعض الوقت. أهم حكام على العمل العلمي هم أعضاء المستقبل في الجماعة، في وقت يكون أبعد بما يكفي في المستقبل بحيث يمكنهم أن يقيموا بشكل أفضل الدليل موضوعيًا. بينما قد ينجح برنامج علمي مؤقتًا في جمع الأنصار، لا يمكن لأي برنامج، أو قول، أو وجهة نظر أن تنجح على المدى البعيد إلا إذا أنتج دليلاً كافيًا لإقناع الشكاك.

-يكون أعضاء الجماعة العلمية منفتحين تجاه أي كائن بشري. اعتبارات المكانة، أو السن، أو الجنس، أو أي صفات شخصية لا تلعب دورًا في تقدير دليل أي عالم وحججه، ولا تحد من وصول أي عضو إلى وسائل نشر الدليل، والحجة، والمعلومات. ومع ذلك يقوم الدخول في الجماعة على معيارين. الأول امتلاك مهارة إحدى حرف مجال علمي فرعي على الأقل إلى حد قدرتك على إنتاج عمل بشكل مستقل يتم الحكم عليه بواسطة الأعضاء الآخرين على أنه من نوعية عالية. المعيار الثاني هو الولاء والالتزام الدائم بالأخلاق المشتركة.

-بينما قد تصبح المعتقدات القويمة راسخة مؤقتًا في مجال فرعي ما، تدرك الجماعة أن الآراء المعارضة وبرامج الأبحاث ضرورية للصحة الدائمة للجماعة.

عندما ينضم الأشخاص إلى جماعة علمية، يتوقفون عن رغبات معينة طفولية لكنها عامة: الحاجة إلى الشعور بأنهم على حق طوال الوقت أو الاعتقاد بأنهم يمتلكون الحقيقة المطلقة. في المقابل، يتقبلون عضوية في مشروع راهن سوف يحقق مع الوقت ما لا يمكن لأي فرد أن ينجزه وحده. ويتلقون أيضًا تدريبًا على المهنة، وفي أغلب الحالات يتعلمون أكثر بكثير مما كانوا يستطيعون تعلمه بأنفسهم في أي وقت. عندئذ، مقابل عملهم الذي يمتد في ممارسة هذه المهنة، تحمي الجماعة حق العضو في أن يدافع عن أي وجهة نظر أو برنامج بحث يشعر أنه مدعوم بدليل تم تطويره من خلال ممارسته.

أستطيع أن أسمى هذا النوع من الجماعة، حيث العضوية تتحدد بالالتزام بمجموعة قوانين أخلاقية وممارسة مهن تم تطويرها لتحقيقها، جماعة أخلاقية. والعلم، كما أفترض، هو أنقى مثال لدينا لمثل هذه الجماعة.

لكن لا يكفي وصف العلم باعتباره جماعة أخلاقية، لأن بعض الجماعات الأخلاقية توجد للمحافظة على المعارف القديمة أكثر من اكتشاف حقائق جديدة. الجماعة الدينية، في كثير من الحالات، توفر معيار أن تكون جماعة أخلاقية. بالفعل، العلم في شكله الحديث تطور من أديرة ومدارس لاهوتية – جماعات أخلاقية كان هدفها حفظ العقيدة الدينية. لذلك لو أن وصفنا للعلم بأن يكون له نفوذ يرغم على الطاعة، يجب أن نضيف بعض المعايير تميز بوضوح قسم الفيزياء عن الدير.

لفعل ذلك، أحب أن أقدم مفهومًا ثانيًا، وهو ما أسميه جماعة مبتكرة. هذه جماعة تدمج في أخلاقها وتنظيمها معتقدًا بحتمية التقدم والانفتاح على المستقبل. يترك الانفتاح المجال، بشكل إبداعي ونظامي للتحديث والدهشة. ليس فقط أن هناك اعتقادا بأن المستقبل سيكون أفضل، لكن هناك فهما بأننا لا نستطيع التنبؤ بكيفية الوصول إلى هذا المستقبل الأفضل.

ليست الدولة الماركسية أو الدولة الدينية الأصولية جماعة مبتكرة. قد تبدوان متقدمتين بالنسبة لمستقبل أفضل، لكنهما تعتقدان أنهما تعرفان بالضبط كيف سيتم الوصول إلى المستقبل. في كلمات أسمعها غالبًا من جدتي الماركسية ومن أصدقاء خلال تقدمي في العمر، فإنهم متأكدون من أنهم على حق لأن "علمهم" يعلمهم "التحليل الصحيح للموقف".

تعتقد أي جماعة مبتكرة أن المستقبل سوف يأتي بمفاجآت، على هيئة اكتشافات جديدة وأزمات جديدة يجب التغلب عليها. وبدلاً عن وضع إيمانهم بمعارف راهنة، يستثمر أعضاء هذه الجماعة آمالهم وتوقعاتهم عن المستقبل في أجيال المستقبل، بأن ينقلوا إليهم المبادئ الأخلاقية وأدوات التفكير، على مستوى الفرد والجماعة، التي ستساعدهم على التغلب على الظروف، البعيدة عن القدرات الراهنة على التخيل، واستغلالها.

يتوقع العلماء الماهرون أن يتخطاهم طلابهم. رغم أن النظام الأكاديمي يتيح للعالم الناجح الكثير من الأسباب لكي يعتقد في سلطته الخاصة، فإن أي عالم صالح يعرف أن لحظة استسلامك للاعتقاد بأنك تعرف أكثر من أفضل طلابك، فإنك تتوقف عن أن تكون عالمًا.

هكذا تكون الجماعة العلمية جماعة أخلاقية ومبتكرة.

ما يجب أن يكون واضحًا إلى حد كبير من هذا الوصف هو أن النزاع جوهري لتقدم العلم. يقول مبدئى الأول إنه عندما نكون مضطرين إلى الوصول إلى إجماع عام على الدليل، علينا أن نفعل ذلك. لكن مبدئى الثاني يقول بأنه حتى يرغم الدليل على الإجماع العام، علينا تشجيع التنوع الواسع في وجهات النظر. هذا جيد للعلم – وهي وجهة نظر كان فيرابيند يقدمها غالبًا، وأنا أعتقد بصحتها. يمضي العلم أسرع عندما تكون هناك نظريات متنافسة. وجهة النظر البسيطة الأقدم هي أن النظريات تتقدم واحدة في كل مرة ويتم اختبارها في مواجهة البيانات. يفشل ذلك في أن يأخذ في الاعتبار مدى تأثير الأفكار النظرية على التجارب التي نجريها وعلى كيفية تفسيرنا لها. لو أن نظرية واحدة يتم التمعن فيها كل مرة، من المرجح أن نصبح معلقين في شراك ناتجة عن هذه النظرية. الطريق الوحيدة للخروج من ذلك هي أن تتنافس نظريات مختلفة لتفسير نفس الدليل.

يرى فيرابيند أنه حتى في الحالات التي تلقى فيها نظرية ما، تتفق مع كل الأدلة، قبولاً واسعًا، يظل من الضروري ابتكار نظريات منافسة لكي يتقدم العلم. هذا لأن التجارب التي تتناقض مع وجهة النظر الراسخة من المرجح في الغالب أن تقدمها نظرية منافسة وربما حتى لا يمكن استيعابها لو لم تكن هناك نظرية منافسة. لذلك فإن النظريات المتنافسة تؤدي إلى ظهور شذوذات تجريبية كما يحدث العكس كثيرًا.

لذلك يصر فيرابيند على أن على العلماء ألا يوافقوا أبدًا على ذلك، إلا إذا كانوا مرغمين عليه. عندما يحدث أن يتفق العلماء في وقت قريب جدًا، قبل أن يضطروا إلى ذلك بواسطة دليل، يكون العمل في خطر. علينا عندئذ التساؤل حول ما يؤثر عليهم ليصلوا إلى استنتاج قبل الأوان. ولأنهم مجرد بشر، فإن الإجابة عن ذلك من المرجح أن تكون هي نفس العوامل التي تسبب اتفاق الناس على كل أنواع الأمور التي لا تعتمد على الدليل، من المعتقدات الدينية حتى الموضة والنزعات في الثقافة الشعبية.

لذلك فإن السؤال هو: هل نريد من العلماء أن يتفقوا لأنهم يرغبون في أن يكونوا محبوبين أو ينظر إليهم العلماء الآخرون باعتبارهم عظماء، أو لأنهم يحبون أن يكونوا في الفريق الفائز؟ معظم الناس يميلون للاتفاق مع الآخرين من أجل حوافز مماثلة. وليس هناك سبب لأن يكون العلماء محصنين منها، حيث إنهم بشر على أي حال.

رغم ذلك، يجب أن نحارب هذه الدوافع لو أننا نرغب في المحافظة على العلم حيًا. يجب أن نشجع العكس، وهو أن نخالف مادام الدليل يسمح بذلك. وحيث إن الكثير من البشر يحتاجون لأن يكونوا محبوبين، ومتلائمين، ولأن يكونوا جزءًا من فريق فائز، يجب أن نجعل من الواضح أننا عندما نستسلم لهذه الاحتياجات، فإننا نجعل العلم ينحدر.

هناك أسباب أخرى لأن يكون من واجب الجماعة العلمية السليمة أن تشجع المعارضة. يتقدم العلم إلى الأمام عندما نكون مضطرين إلى الاتفاق

على شيء غير متوقع. لو أننا نظن أننا نعرف الإجابة، سوف نحاول أن نجعل كل نتيجة تتلاءم مع هذه الفكرة قبل امتلاك المعرفة. إنه الجدال الذي يحافظ على العلم حيًا، ويحافظ عليه متحركًا. في جو مملوء بالجدال حول وجهات نظر متنافسة، لا تكون القوى الاجتماعية كافية لجعل الناس يتفقون. لذلك ففي هذه المناسبات النادرة عندما نكون قد وصلنا إلى إجماع ما على شيء، فإن ذلك يعود إلى أنه ليس لدينا خيار. يضطرنا الدليل أن نفعل ذلك، حتى لو لم نكن نحبه. وهذا هو سبب أن تقدم العلم حقيقيا.

هناك عدة اعتراضات واضحة على هذه التوصيف للعلم. الأول، من الواضح أن هناك انتهاكات لأعضاء الجماعة للأخلاق وهو ما أشرت إليه على التو. يقوم العلماء غالبًا بالمبالغة في الدليل وتشويهه. العمر، والمكانة، والموضة، وضغط الند، كلها تلعب دورًا في أعمال الجماعة العلمية. تنجح بعض برامج الأبحاث في جمع الأنصار والموارد أبعد مما يدعمه الدليل، بينما برامج الأبحاث الأخرى التي تحمل ثمرة في النهاية يتم قمعها بواسطة القوى الاجتماعية.

لكنني قد أقترح أن ما يكفي من العلماء يلتزم بالأخلاق بحيث يستمر إحراز التقدم على المدى البعيد، رغم حقيقة أن الوقت والمصادر تهدر في ترويج والدفاع عن أفكار تقليدية مطابقة للموضة، والتي يتضح في ما بعد أنها خاطئة. يجب التأكيد على دور الوقت. مهما يحدث على المدى القصير، يتراكم الدليل دائمًا على وجه التقريب بمرور العقود مما يرسخ المزاعم العكسية بالإجماع العام، بغض النظر عن الموضة.

الاعتراض الآخر الممكن هو أن الوصف الذي قدمته غير كامل منطقيًا. لا أقدم أي معايير لتحديد أي من المهارات تحتاج إلى براعة. لكنني أظن أنه من الأفضل أن يتم ذلك بواسطة الجماعات ذاتها، عبر الكثير من الأجيال. لم تكن هناك طريقة لأن يتنبأ نيوتن أو داروين بنطاق الأدوات والإجراءات المستخدمة حاليًا.

الالتزام بالأخلاق المشتركة لم يكن أبدًا تامًا، لذلك هناك دائمًا مجال للتحسين في ممارسة العلم. ويبدو هذا صحيحا بشكل خاص اليوم، عندما يبدو أن الموضة تلعب دورًا كبيرًا جدًا، على الأقل في الفيزياء. أنت تعرف أن هذا يحدث أينما يوجد شاب لامع حاصل حديثًا على دكتوراه فلسفة يخبرك شخصيًا بأنه كان من الأحرى أن يفعلوا شيئًا ما لكنهم يفعلون شيئًا آخر لأن هذا هو الاتجاه أو التقنية التي يناصرها الأشخاص الأقوياء الأكبر سنًا، وأنهم يشعرون من ثم بأنهم في حاجة إلى عمل شيء ثالث للحصول على تمويل أو وظيفة. بالطبع، في العلم كما في المجالات الأخرى، هناك دائمًا قلة تختار أن تفعل العمل الأول رغم الأدلة الواضحة على أن من يفعلون الثاني تتم مكافأتهم بشكل أفضل على المدى القصير. من بينهم أشخاص من المرجح أكثر أن يقودوا الجيل التالي. لذلك فإن تقدم العلم قد يتباطأ بواسطة العادات التقليدية والموضة، لكن مادام هناك مجال لهؤلاء الذين يفعلون العمل الأول بدلاً عن الثالث، لا يمكن إيقافهم بالكامل.

كل هذا للقول بأنه في ما يشبه كل ما يفعله البشر، فإن النجاح في العلم تقوده إلى حد بعيد الشجاعة والشخصية. بينما يعتمد تقدم العلم على احتمال

إحراز إجماع عام على المدى البعيد، فإن القرارات التي يتخذها العلماء بشكل شخصي حول ما عليهم فعله، وكيفية تقييم الدليل، تعتمد دائمًا على معلومات غير كاملة. يتقدم العلم لأنه مبني على تمييز أخلاقي بأنه في مواجهة المعلومات غير الكاملة نكون جميعًا متساوين. لا يمكن لأحد التنبؤ بشكل مؤكد بما إذا كانت مقاربة ما سوف تؤدي إلى تقدم محدد أو سنوات من العمل الضائع. كل ما يمكننا فعله هو تدريب الطلاب على مهارات أوضحت التجربة أنها تؤدي في أغلب الأحيان إلى نتائج جديرة بالثقة. بعد ذلك، علينا تركهم أحرارًا في أتباع حسهم الباطني الخاص، وأن نخصص وقتًا للاستماع إليهم عندما يعودوا ليخبروننا. طالما تفتح الجماعة بشكل دائم فرصًا للأفكار ووجهات النظر الجديدة وتلتزم بأخلاق أننا سنحتاج في النهاية إلى إجماع عام يقوم على حجة عقلية من دليل متاح للجميع، سوف ينجح العلم في نهاية الأمر.

مهمة تكوين جماعة علمية لن تنتهي أبدًا. ستكون دائمًا ضرورية لمحاربة هيمنة العادات التقليدية، والموضة، والسن والمكانة. سيكون هناك دائمًا إغراءات للسير في الطريق السهل، وللالتحاق بالفريق الذي يبدو أنه يفوز أكثر من محاولة فهم المشكلة من جديد. في أفضل حالاتها، تستغل الجماعة العلمية أفضل دوافعنا ورغباتنا، بينما تحمينا مما هو أسوأ لدينا. تعمل الجماعة جزئيًا بتوجيه التكبر والطموح الذي ينقله كل منا بدرجة ما إلى الأبحاث. لعل ريتشارد فينمان قد قالها بشكل أفضل: العلم هو الشكية المنظمة في مصداقية الرأي الخبير(٨).

١٨

المستبصرون والحرفيون

ربما يكون هناك شيء خطأ في طريقتنا في محاولة عمل ثورة في الفيزياء. قلت في الفصل ١٧ إن العلم مؤسسة إنسانية، معرض لنقاط الضعف الإنساني – وهو هش، لأنه يعتمد على أخلاق الجماعة مثل اعتماده على أخلاق الفرد. وقد ينهار، وأعتقد أن هذا ما يفعله الآن.

غالبًا ما تجد أية جماعة أنه من المكروه التفكير بطريقة خاصة بسبب كيفية تنظيمها. إحدى القضايا التنظيمية المهمة هي: هل نتعرف على ونكافئ النوع الصحيح من الفيزياء، والنوع الصحيح من علماء الفيزياء، لكي نحل المشكلة الجاري معالجتها؟ ونظيره المعرفي هو: هل نطرح الأسئلة الصحيحة؟

الشيء الوحيد الذي يبدو أن كل شخص يهتم بالفيزياء الأساسية يوافق عليه هو أن هناك حاجة إلى أفكار جديدة. من حالات النقد الأكثر شكًا إلى المدافعين الأكثر حماسًا عن نظرية الأوتار، تسمع نفس الشيء: ينقصنا شيء ما كبير. وكان إدراك الحاجة إلى شيء ما جديد هو الذي قاد منظمي مؤتمر الأوتار الأول في ٢٠٠٥ إلى تقديم جلسة حول "الثورة التالية للأوتار الفائقة". ورغم أن هناك المزيد من الثقة الحالية بين الممارسين في المجالات الأخرى،

سوف يوافق كل عالم فيزياء أعرفه على أنه ربما هناك على الأقل فكرة واحدة كبيرة مفقودة.

كيف نعثر على هذه الفكرة المفقودة؟ من الواضح، أن على شخص ما أن يتعرف على فرضية خاطئة وقعنا فيها جميعًا أو أن يطرح سؤالاً جديدًا، ومن ثم هذا هو نوع الأشخاص الذي نحتاج إليه لضمان مستقبل الفيزياء الأساسية. القضية التنظيمية تتضح عندئذ: هل لدينا نظام يسمح لشخص ما كفؤ باستخلاص الفرضية الخاطئة أو بطرح هذا السؤال الصحيح على جماعة من الأشخاص ندعمهم و(بنفس الأهمية) ننصت إليهم؟ هل نحتضن الثوار المبدعين بهذه المواهب النادرة، أم نبعدهم؟

لا يحتاج الأمر إلى القول بأن الأشخاص الذين يطرحون أسئلة جديدة حقًا لكنها مناسبة نادرين، وأن القدرة على النظر في حالة المجال التقني ورؤية افتراض خفي أو طريق جديد لبحث هي مهارة مميزة تمامًا عن المهارات العادية التي تعتبر مطلوبة كشرط أولي للانضمام إلى جماعة الفيزياء. من جانب ما يجب أن تكون حرفيًا، ذا مهارة عالية في الممارسة في مهنة ما. وهو أمر مختلف عن أن تكون مستبصرًا .

ولا يعني هذا التمييز أن المستبصر ليس عالمًا عالي التدريب. على المستبصر أن يعرف الموضوع بدقة وإحكام، ويستطيع أن يعمل بأدوات الحرفة، ويتبادل الأفكار بحجة مقنعة بلغة الحرفة. ورغم ذلك لا يحتاج المستبصر لأن يكون الأكثر مهارة تقنية بين علماء الفيزياء. يوضح التاريخ

أن هذا النوع من الأشخاص الذين يصبحون مستبصرين يكون أحيانًا عاديًا مقارنة بالعلماء الأذكياء رياضيًا الذين يتفوقون في حل المشكلة. المثال الأول هو أينشتاين، الذي كما يظهر لم يستطع الحصول على وظيفة لائقة كعالم عندما كان شابًا.

كان بطيئًا في الجدل، يمكن إرباكه بسهولة، وكان الآخرون أفضل بكثير في الرياضيات. ويُقال إن أينشتاين نفسه قد لاحظ ذلك، "ليس الأمر أنني بالغ الذكاء. الأمر فقط أنني استغرق وقتًا طويلاً مع المشاكل"[1]. كان نيلز بور حالة أكثر تطرفًا فوق ذلك. تشير مارا بيلر Mara Beller، عالمة التاريخ التي درست أعماله بالتفصيل، إلى أنه لم يكن هناك حساب واحد في دفاتر ملحوظاته البحثية، والتي كانت كلها حجج كلامية وصور[2]. قدم لويس دو بروجلي Louis De Broglie الاقتراح المدهش بأنه لو كان الضوء جسيما بقدر ما هو موجة، ربما تسلك الإلكترونات والجسيمات الأخرى أيضًا كموجات. اقترح هذا في رسالة دكتوراه في ١٩٢٤ وهو ما لم يثر إعجاب ممتحنيه وكان ليفشل بدون تأييد أينشتاين. في حدود معرفتي، لم يفعل أبدًا أي شيء تقريبًا له هذا التأثير في الفيزياء مرة أخرى. هناك شخص واحد فقط يمكنني التفكير في أنه كان مستبصرًا وأفضل علماء الرياضيات في زمنه: إسحاق نيوتن، بالفعل، وكل شيء تقريبًا حول نيوتن فريد ويتعذر تفسيره.

كما تمت ملاحظته في الفصل السابق، قدم توماس كون تمييزًا بين "العلم العادي" والثورات العلمية. يقوم العلم العادي على النموذج الإرشادي paradigm، وهو الممارسة واضحة المعالم مع نظرية مستقرة ومجموعة

مستقرة من الأسئلة، ومناهج تجريبية، وتقنيات حسابية. تحدث الثورة العلمية عندما يتحطم النموذج، وبعبارة أخرى، عندما تفشل النظرية التي يقوم عليها في التنبؤ بنتائج التجارب أو تفسيرها[٣]. لا أظن أن العلم يعمل دائمًا بهذه الطريقة، لكن هناك بالتأكيد فترات عادية وأخرى ثورية، ويتم إنجاز العلم بشكل مختلف خلال كل منها. الفكرة أن الأنواع المختلفة من الأشخاص مهمة في العلم العادي والثوري. والفترات العادية، تحتاج فقط إلى أشخاص يكونون حقًا، بغض النظر عن خيالهم (الذي قد يكون مرتفعًا إلى حد كبير) جيدين في العلم بالأدوات التقنية – دعنا نسمهم حرفيين معلمين. تحتاج الفترات الثورية إلى مستبصرين، يمكنهم التحديق إلى الأمام في الظلام.

يأتي الحرفيون المعلمون والمستبصرون إلى العلم لأسباب مختلفة. يدخل الحرفيون المعلمون في العلم لأنهم، من ناحية الأغلبية العظمى، يكونون قد اكتشفوا مدرسة هم بارعون فيها. يكونون عادة أفضل طلاب في فصول الرياضيات والفيزياء في الصفوف قبل الأخيرة من المدرسة الثانوية حتى معاهد الدراسات العليا، حيث يقابلون في النهاية أندادهم. يستطيعون دائمًا حل مشاكل الرياضيات أسرع وأكثر دقة من زملائهم في الفصل، لذلك فإن حل المشاكل هو ما يميل إلى إعطائهم قيمة بين العلماء الآخرين.

المستبصرون مختلفون إلى حد كبير. إنهم حالمون. يأتون إلى العلم لأن لديهم أسئلة حول طبيعة الوجود لا تجب عنها كتبهم المدرسية. لو لم يكونوا علماء، لعلهم كانوا سيصبحون فنانين أو كتابًا أو ينتهي بهم الأمر إلى

مدرسة علم اللاهوت. يجب أن يكون من المتوقع فقط أن أعضاء هاتين المجموعتين لا يفهمون ولا يثقون ببعضهم البعض.

الشكوى المشتركة للمستبصرين هي أن التعليم النموذجي للفيزياء يتجاهل السياق التاريخي الفلسفي الذي تطور خلاله العلم. كما قال أينشتاين في خطاب إلى عالم الفيزياء الشاب الذي حبطت جهوده في إضافة الفلسفة إلى مناهجه في الفيزياء:

أوافق تمامًا معك على الأهمية والقيمة التعليمية للمنهج بالإضافة إلى تاريخ وفلسفة العلم. الكثير جدًا من الأشخاص اليوم – وحتى العلماء المؤهلين – يبدون لي مثل شخص رأى آلاف الأشجار لكنه لم ير الغابة أبدًا. تعطي المعرفة بخلفية تاريخية وفلسفية هذا النوع استقلالاً عن تحيز جيلهم الذي يعاني منه أغلب العلماء. وهذا الاستقلال الناتج عن التبصر الفلسفي هو – من وجهة نظري – علامة التمييز بين مجرد الحرفي البحت أو المتخصص والباحث الحقيقي عن الحقيقة(٤).

بالطبع، بعض الأشخاص خليط من الأمرين. لا يصل إلى ذلك أي شخص خلال الدراسات العليا إذا لم يكن ذا كفاءة عالية من الناحية التقنية. لكن أغلب علماء الفيزياء النظرية الذين أعرفهم يعتبرون في إحدى الجماعتين أو الأخرى. ماذا عني؟ أعتبر نفسي مستبصرا مزعوما كنت جيدًا بما يكفي لحسن الحظ في مهنتي لكي أساهم أحيانًا في حل المشاكل.

عندما قابلت لأول مرة تصنيفات كون عن العلم العادي والثوري وكنت طالبًا دون التخرج، كنت مرتبكًا، لأنني لم أستطع معرفة الفترة التي كنا فيها. لو كنت قد نظرت إلى أنواع الأسئلة التي بقيت بدون إجابة، فقط كنا بوضوح بدرجة ما خلال ثورة. لكن لو نظرت إلى كيفية عمل الناس من حولي، كنا فقط كما يتضح ننجز العلم العادي. كان هناك نموذج إرشادي، الذي كان النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات والممارسات التجريبية التي أثبتته، وكان يتقدم بشكل عادي.

الآن أفهم أن الارتباك كان مفتاحًا للأزمة التي كنت أستكشفها في هذا الكتاب. نحن بالفعل في فترة ثورية، لكننا نحاول الخروج منها باستخدام أدوات وتنظيم العلم العادي غير الملائمة.

هذه، من ثم، فرضيتي الأساسية حول السنوات الخمس والعشرين الأخيرة للفيزياء. قد نكون دون شك في فترة ثورية. نحن مرتبكون بشكل مفزع، ونحتاج إلى مستبصرين حقيقيين، وبكثرة. لكن زمنًا طويلاً قد مضى منذ كنا في حاجة إلى مستبصرين. كانت لدينا قلة من المستبصرين البارزين في بداية القرن العشرين: أينشتاين فوق الجميع، لكن هناك أيضًا بور، وشرودنجر، وهيزنبرج وبعض الآخرين. فشلوا في استكمال الثورة التي بدأوها، لكنهم ابتكروا نظريات ناجحة جزئيًا – ميكانيكا الكم والنسبية العامة– من أجلنا لكي نبني فوقها. وتطلب تطوير هذه النظريات الكثير من العمل التقني المجهد، ولذلك لعدة أجيال كانت الفيزياء "علمًا عاديًا" وهيمن عليها الحرفيون المعلمون. وبدلاً عن ذلك، فإن الانتقال من هيمنة الأوروبيين إلى

الهيمنة الأمريكية، الذي حدث في الأربعينيات، كان إلى حد كبير انتصار للحرفيين المعلمين على المستبصرين. كما تمت ملاحظته، أتت معه أمور عدة في أسلوب الفيزياء النظرية، من النوع التأسيسي التأملي لأينشتاين وأنداده إلى النوع العملي، الجريء الذي أعطانا النموذج المعياري.

عندما تعلمت الفيزياء في السبعينيات، كان الأمر تقريبًا كما لو أنه تم تعليمنا ازدراء الأشخاص الذين يفكرون في المسائل الأساسية. عندما سألنا عن القضايا الأساسية في ميكانيكا الكم، قيل لنا إنه لا أحد فهمها على أكمل وجه لكن الاهتمام بها لم يعد جزءًا من العلم. كان العمل أخذ ميكانيكا الكم كما تُعطى وتطبيقها على مشاكل جديدة. كانت الروح عملية : "اسكت وقم بالحساب" كان الكلام المقدس المكرر. والأشخاص الذين كانوا لا يستطيعون إغفال هواجسهم تجاه معنى نظرية الكم كان يُنظر إليهم باعتبارهم فاشلين لم يستطيعوا إنجاز العمل.

باعتباري أحد الأشخاص الذين أتوا إلى الفيزياء من قراءة التأملات الفلسفية لأينشتاين، لم أستطع قبول هذه الحجة، لكن الرسالة كانت واضحة، وقد تبعتها بأفضل ما يمكنني. يمكنك الحصول على مهنة فقط إذا عملت في نظرية الكم كما تُعطى، وليس بوضعها موضع تساؤل. أدى ظرف من حسن الحظ إلى حصولي على بعض الوقت في معهد الدراسات المتقدمة في برنستون، لكن لم تكن هناك أي ذكريات عن طريقة أينشتاين في إنجاز العلم – مجرد رسم منحوت من البرونز الفارغ يحملق صامتًا إلى الخارج عبر المكتبة.

لكن الثورة لم تكن قد انتهت. كان النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات بالتأكيد نصرًا لأسلوب النموذج الإرشادي هذا في إنجاز العلم، لكن نصره يبدو أنه يشهد الآن أيضًا حدوده. النموذج المعياري، وربما فقط التضخم، يدور حول العلم العادي بقدر ما يمكننا أن نصل إليه. منذ ذلك الحين، ونحن نتورط، لأن ما نحتاج إليه هو العودة إلى النوع الثوري من العلم. ومن جديد، نحتاج إلى بضعة مستبصرين. المشكلة هي أن هناك الآن قلة منهم هنا وهناك، نتيجة لأن العلم يتم إنجازه منذ وقت طويل جدًا بطريقة يندر أن تتعرف عليهم وبالكاد تتسامح معهم.

بين بداية القرن العشرين والربع قرن الأخير، أصبح العلم – والمجتمع الأكاديمي بشكل عام – أكثر تنظيمًا واحترافًا بكثير. وهذا يعني أن ممارسة العلم العادي يتم تقديسها باعتبارها النموذج الوحيد للعلم الجيد. حتى لو استطاع كل شخص أن يرى أن هناك ضرورة لثورة ما، نست الأجزاء الأكثر قوة من جماعتنا كيفية عمل إحدى هذه الثورات. كنا نحاول أن نفعل ذلك ببنى وأساليب البحث الأكثر ملاءمة للعلم العادي. والموقف المتناقض لنظرية الأوتار – الواعدة إلى حد كبير، وقليلة الإنجاز بدرجة كبيرة – هو بالضبط ما تحصل عليه عندما يحاول الكثير من الحرفيين المعلمين جيدي التدريب أن يقوموا بعمل المستبصرين.

أنا متأكد أن بعض علماء نظرية الأوتار سيرفضون هذا الوصف. إنهم يعملون بالتأكيد على مشاكل أساسية في الفيزياء، وهدف كل عملهم اكتشاف قوانين جديدة. لماذا لا يعتبر علماء نظرية الأوتار مستبصرين؟ أليست

الثقوب الدودية، والأبعاد الأعلى، والأكوان المتعددة أفكارًا مبتكرة؟ نعم، بالطبع، لكن ليس هذا هو الموضوع: السؤال هو: ما السياق، وما الذي تدور حوله الأفكار؟ من الصعب اعتبار الأبعاد الخفية والثقوب الدودية ابتكارًا بعد أكثر من ثلاثة أرباع القرن بعد كالوزا وكلين. ولا يحتاج الأمر الكثير من البصيرة والشجاعة للتفكير في هذه الأمور عندما يفكر مئات الأشخاص في نفس الأفكار.

الطريقة الأخرى للنظر في موقفنا الراهن هي أن المستبصرين مضطرون، برغبتهم في الوضوح، إلى التمسك بإحكام بالمشاكل الأكثر عمقًا في أسس الفيزياء. وهي تتضمن أسس ميكانيكا الكم والمشاكل المصاحبة للمكان والزمن. تمت كتابة الكثير من الأبحاث والكتب حول المشاكل الأساسية لميكانيكا الكم خلال العقود القليلة الماضية، لكن، حسب معرفتي، لم يكن أي منها من إنتاج قادة علماء نظرية الأوتار. ولا أعرف أي بحث لعالم نظرية أوتار يحاول الربط بين القضايا التي توجهها نظرية الأوتار والكتابات الأقدم لعلماء فيزياء وفلاسفة حول القضايا الكبيرة في أسس المكان، أو الزمن، أو النظرية الكمية.

قادة المقاربات المستقلة عن الخلفية للجاذبية الكمية يميلون، بالعكس، لأن يكونوا أشخاصًا تكونت وجهات نظرهم العلمية بالتأمل طوال العمر في قضايا تأسيسية عميقة. من السهل تقديم قائمة عن هؤلاء الذين قادت أفكارهم إلى أبحاث بل وحتى كتب تعالج قضايا تأسيسية: ربما يكون روجر بنروز الأكثر شهرة لدى الجمهور، لكن يمكن تسمية الكثيرين غيره بما فيهم جون

بايز John Baez، لويس كران Louis Crane، وبرايس دوويت، وفاي دوكر Fay Dowker، وكريستوفر إشام Christopher Isham، وفوتيني ماركبولو، وكارلو روفيلي Carlo Rovelli، ورفائيل سوركين، وجيرارد تهوفت Gerard 't Hooft.

بالعكس، لا يمكنني التفكير في عالم نظرية أوتار في الاتجاه السائد أقترح فكرة أصلية حول أسس نظرية الكم أو طبيعة الزمن. يميل علماء نظرية الأوتار إلى الإجابة عن هذه التهمة بإجابة غير مكترثة، انتظارًا لأن يتم حل كل هذه المسائل. أحيانًا يعرفون أن المشاكل جادة لكنهم يتبعون بسرعة هذا القبول بزعم أنه من المبكر جدًا محاولة حلها. غالبًا ما نسمع أن علينا فقط مواصلة تتبع تطور نظرية الأوتار، لأنه حيث إن نظرية الأوتار صحيحة، يجب أن تحتوي على الحلول الضرورية.

ليس لديّ أي شيء ضد الأشخاص الذين يمارسون العلم كمهنة، ويعتمد عملهم على امتلاك المهارة التقنية بشكل كامل. هذا ما يجعل العلم العادي بكل هذه القوة. لكن من الوهم تخيل أن المشاكل التأسيسية يمكن حلها بحل مشكلة تقنية في النظريات الموجودة. قد يكون أمرًا جذابًا لو أن الحالة كانت كذلك – بالتأكيد، لعلنا جميعًا فكرنا أقل، والتفكير صعب بالفعل، حتى بالنسبة لأولئك الذين يشعرون بالاضطرار لفعل ذلك. لكن المشاكل العميقة الدائمة لا يتم حلها أبدًا بالصدفة، ويتم حلها فقط بواسطة أشخاص مشغولى البال بها ويخططون لحلها مباشرة. هؤلاء هم المستبصرون، وهذا هو سبب الأهمية البالغة في أن يدعوهم العلم الأكاديمي أكثر من أن يقصيهم.

لم يتم أبدًا تنظيم العلم بطريقة ودودة بالنسبة للمستبصرين، وبالكاد يعتبر توظيف أينشتاين مثالاً وحيدًا. لكن منذ مائة عام، كان المجتمع الأكاديمي أكثر صغرًا بكثير وأقل مهنية بكثير، وكان الخارجون عنه جيدو التدريب هم الشائعون. كان هذا هو تراث القرن التاسع عشر، عندما كان أغلب الأشخاص الذين يمارسون العلم هواة متحمسين، إما أثرياء إلى درجة عدم الحاجة إلى العمل أو مقتنعون بما يكفي لأن يجدوا راعيًا.

حسنًا، قد يكون هذا هو قولك. لكن من المستبصرون؟ إنهم حسب التعريف أفراد مستقلون إلى حد كبير ولديهم الحافز الذاتي وملتزمون جدًا بالعلم إلى حد أنهم ينجزونه حتى لو لم يستطيعوا العيش عن طريقه. هنا يجب أن تكون هناك قلة خارج ذلك، حتى رغم أن مجتمعنا الأكاديمي لا يحمل ودًا لهم. من هم وما الذي دبروه لحل المشاكل الكبيرة؟

إنهم يختفون في المشهد المباشر. يمكن التعرف عليهم برفضهم للافتراضات التي يعتقد أغلب بقيتنا في صحتها. دعني أقدم لك قلة منهم.

لديّ الكثير من المشاكل في الإيمان بأن النسبية الخاصة خاطئة، لو كانت كذلك، ومن ثم هناك حالة مفضلة للسكون وكلاً من الاتجاه وسرعة الحركة يجب أن يكونا في النهاية قابلين للرصد. لكن هناك قلة من علماء النظريات هنا وهناك ليس لديهم مشاكل مع هذا المفهوم. تيد جاكوبسون Ted Jacobson صديق اشترك معي في بحث حول ميكانيكا الكم للجاذبية الكمية للأنشوطة. وصلنا معًا إلى الحلول الأولى الدقيقة لمسألة مهمة تُعرف باسم

معادلة ويلر -ديويت[٥]. لكن عندما ظهرت الجاذبية الكمية للأنشوطة في المقدمة، أصبح جاكوبسون متشائمًا. لم يكن يظن أن الجاذبية الكمية للأنشوطة ستنجح، ولم يظن أيضًا أنها ستصل إلى عمق كاف. بعد تقليب الرأي في الموضوع، بدأ التساؤل حول مبدأ النسبية ذاته والاعتقاد باحتمال حالة سكون مفضلة. كان قد قضى السنوات في تطوير هذه الفكرة. في الفصلين ١٣ و١٤، لاحظت أنه لو كانت النسبية الخاصة خاطئة، فسوف تخبرنا التجربة قريبًا بذلك. جاكوبسون وطلابه في جامعة ماريلاند من بين قادة البحث عن اختبار تجريبي للنسبية الخاصة.

المستبصر الآخر الذي تساءل حول الإطار الكلي للنسبية هو عالم الكونيات جوو ماجيويجو (انظر الفصل ١٤). لم يكن لديه اختيار، لأنه ابتكر ووقع في حب فكرة بدت متناقضة معها - وهي أن سرعة الضوء قد تكون أعلى بكثير في الكون المبكر. والأبحاث التي كتبها حول ذلك متسقة فقط بالكاد - وبالتأكيد ليس لها معنى إلا إذا افترضنا أن مبدأ النسبية يحتاج إلى نبذه، أو تعديله على الأقل.

ومن ثم هناك الأشخاص الجامحون في فيزياء الحالة الصلبة - علماء فيزياء موهوبون حصلوا على سير حياة مهنية فسروا خلالها الأمور الحقيقية حول سلوك المادة الحقيقية. أنا أشير إلى روبرت لافلين، الذي حصل على جائزة نوبل في ١٩٩٨ لمساهماته في "اكتشاف نوع جديد من السوائل الكمية بالإثارة الجزيئية المشحونة"، وجريجوري فولوفيك، من معهد لاندو للفيزياء النظرية، في موسكو، الذي فسر سلوك أنواع معينة من الهليوم شديد البرودة،

وتشيو -جانج وين. هؤلاء الرجال حرفيون معلمون ومستبصرون في نفس الوقت. ولأنهم ربما قد أنجزوا أفضل وأعظم علم عادي في العقود القليلة الماضية، قرروا وضع أيديهم على مشاكل عميقة في الجاذبية الكمية، وبدأوا بفكرة أن مبدأ النسبية خطأ، وإنه مجرد تقريب، وظاهرة منبثقة. ويعتبر عالم فيزياء الجسيمات جيمس بجوركين James Bjorken مثالا آخر لمثل هذا المستبصر/الحرفي. ومعرفتنا بأن البروتونات والنيوترونات تحتوي على كواركات يعود في جزء كبير منه إلى هؤلاء المستبصرين.

أحد أعظم المستبصرين هو هولجر بيش نلسين، من معهد نيلز بور. كان أحد مبتكري نظرية الأوتار، وله الكثير من الاكتشافات المهمة تعتبر مفخرة له. لكنه خلال عدة سنوات كان معزولاً عن الاتجاه السائد لكي يدافع عن ما أطلق عليه الديناميكا العشوائية. أعتقد أن الافتراض الأكثر فائدة الذي يمكننا تقديمه حول القوانين الأساسية هو أنها عشوائية. كل ما نفكر فيه باعتباره حقيقة من الناحية الجوهرية، مثل النسبية ومبادئ ميكانيكا الكم، يظن أنه مجرد حقائق عرضية تنبثق عن نظرية أساسية بعيدة تمامًا عن خيالنا حتى إنه يمكننا افتراض أن قوانينها عشوائية. نماذجه هي قوانين الديناميكا الحرارية، التي تقوم عادة على مبادئ لكنها مفهومة الآن باعتبارها الطريقة الأكثر ترجيحًا لسلوك الأعداد الكبيرة من الذرات في حركة عشوائية. قد لا يكون هذا صحيحًا، لكن نلسين ذهب بعيدًا جدًا في برنامجه المضاد للتوحيد.

هناك قائمة قصيرة إلى حد بعيد من علماء نظرية الأوتار الذين قدموا مساهمات باقية للعلم على مستوى أولئك الذين تخيلهم هذا الرجل النبيل. إذن

كيف استجاب علماء نظرية الأوتار - بل وحتى علماء نظرية الأنشوطة - للتحذيرات المتكررة لعلماء الفيزياء الموهوبين هؤلاء من أنه ربما نقدم جميعًا افتراضًا خاطئًا؟ لقد تجاهلناهم. نعم، بالفعل، وبكل ما لدينا من قوة. لقول الحقيقة، ضحكنا عليهم في غيبتهم، وأحيانًا بمجرد مغادرتهم للغرفة. أن تنجز فيزياء على مستوى جائزة نوبل - أو حتى تفوز بالجائزة نفسها - من الواضح أنه لا يحميك عندما تشك في افتراضات يتم التمسك بها بشكل عام مثل نظريتي النسبية الخاصة والعامة. صدمت عندما أخبرني لافلين أنه كان تحت ضغط من قسمه والوكالة التي تموله لكي يواصل إنجاز العلم العادي في المجال الذي كان يعمل فيه، وحتى لا يقضي وقتًا في أفكاره الجديدة حول المكان، والزمن، والجاذبية. لو أن مثل هذا الشخص، بعد كل إنجازاته، بما فيها جائزة نوبل، لا يمكن الثقة في سعيه وراء أعمق أفكاره، ما هو بالضبط معنى الحرية الأكاديمية؟

من حسن حظ الفيزياء، سوف نعرف قريبًا ما إذا كانت النسبية الخاصة صحيحة أم لا. أغلب أصدقائي يتوقعون أن الملاحظات التجريبية سوف تثبت أن هؤلاء الرجال العظماء كانوا جاهلين. لديّ أمل في أن يكون مهاجمو المعتقدات على خطأ وأن تنجح النسبية الخاصة في الاختبار. لكنني لا يمكنني أن أحرر نفسي من الخوف من أن نكون نحن هم المخطئون وأن موقفهم هو الصحيح.

هذا ما كان من أمر الشك في النسبية. ماذا لو أن نظرية الكم كانت خاطئة؟ تلك هي النقطة الحساسة في مجمل مشروع الجاذبية الكمية. لو أن نظرية الكم خاطئة، عندئذ تكون محاولة الجمع بينها وبين الجاذبية تضييع للوقت إلى حد كبير. هل يظن أحد أن هذا هو الوضع؟

نعم وأحدهم هو جيرارد تهوفت. كطالب دراسات عليا في جامعة أوتريتش، أثبت تهوفت، مع زميل أكبر سنًا، أن النظريات الكمية ليانج-ميلز عقلانية، وهو اكتشاف يجعل مجمل النموذج المعياري ممكنًا، واستحق بجدارة جائزة نوبل عن هذه المجهودات. هذا مجرد واحد من اكتشافاته الكثيرة الأساسية حول النموذج المعياري. لكنه كان خلال العقد الماضي أحد المفكرين الأكثر شجاعة في القضايا الأساسية. فكرته الأساسية يُطلق عليها مبدأ الصور التنويرية holographic. كما صاغه، فإنه لا يوجد مكان. ويضاف إلى ذلك، فإن وصف العالم الموجود على هذه التخوم ليس النظرية الكمية لكنه نظرية حتمية يعتقد أنها ستحل محلها.

فقط قبل أن يصيغ تهوفت مبدأه، تم اقتراح فكرة مماثلة بواسطة لويس كران في سياق مقاربات استقلال عن الخلفية للجاذبية الكمية. اقترح أن الطريقة الصحيحة لتطبيق النظرية الكمية على الكون ليست محاولة وضع مجمل الكون في منظومة كمية. كانت هذه المحاولة قد تمت من قبل بواسطة ستيفن هاوكنج، وجيمس هارتل James Hartle، وآخرون ووجدوا أنهم يواجهون مشاكل حادة. اقترح كران بدلاً عن ذلك أن ميكانيكا الكم ليست وصفًا ثابتًا لمنظومة لكنها تسجيل لمعلومات يمكن أن تكون لدى منظومة فرعية عن منظومة فرعية أخرى بمقتضى تفاعلهما. ثم اقترح أن هناك وصفا ميكانيكيا كميا يتعلق بكل طريقة لتقسيم الكون إلى جزأين. تعيش الحالات الكمية في جزء واحد أو آخر لكن على الحدود بينهما(٦).

الاقتراح الجذري لكران نما منذ ذلك الوقت إلى نوع من المقاربات لنظرية الكم يُطلق عليه النظرية الكمية عن العلاقة relational، لأنها تقوم على فكرة أن ميكانيكا الكم وصف للعلاقة بين المنظومات الفرعية للكون. طور هذه الفكرة كارلو روفيلي Carlo Rovelli، الذي أوضح أنها متسقة تمامًا مع كيفية إنجازنا لنظرية الكم عادة. في سياق الجاذبية الكمية، نتج عنها مقاربة جديدة لعلم الكون الكمي، التي قدمتها فوتيني ماركبولو ومساعدوها. أكدت ماركبولو على أن وصف تبادل المعلومات بين المنظومات الفرعية المختلفة هو نفسه وصف البنية السببية التي تحدد أيا من المنظومات يمكن أن يؤثر على بعضه البعض. وبذلك توصلت إلى أن أي كون يمكن وصفه كحاسب كمي، بالمنطق المتولد ديناميكيًا(٧). فكرة أن الكون نوع من الحاسب الكمي تم ترويجها أيضًا بواسطة سيث للويد Seth Lloyd من معهد مساشوسيتس للتقنية، أحد مستبصري مجال الحوسبة الكمية(٨). من فرعيهما العلميين الخاصين، كانت ماركبولو وللويد يقودان حركة تستخدم أفكارًا من نظرية المعلومات الكمية لإعادة تكوين فكرة عن الكون، مما يؤدي إلى فهم كيف يمكن أن تظهر الجسيمات الأولية من الزمكان الكمي.

يجب أن تذكرك فكرة جيرارد تهوفت عن عالم يتم تمثيله على حدوده بحدس مالداسينا. بالفعل، كانت أفكار تهوفت من جانب إلهامًا لجوان مالداسينا، وظن البعض أن مبدأ الصور التنويرية سيتضح أنها أحد المبادئ الأساسية لنظرية الأوتار. هذا وحده كان كفيلاً بجعله أحد قادة جماعة نظرية الأوتار، لو كان مهتمًا بمثل هذا الدور. لكن في الثمانينيات، بدأ تهوفت يسير

في طريقه الخاص. فعل ذلك بينما كان في ريعان العمر وفي نقطة لم يكن هناك من هو أقوى منه تقنيًا فيها. وبرغم ذلك، في اللحظة التي انحرف فيها عن الاتجاه السائد، ووجه بالسخرية من قبل زملائه علماء فيزياء الجسيمات. لم يبد أنه يهتم، أو حتى لاحظ ذلك، لكنني متأكد أن الأمر كان مؤلمًا. إلا أنه كان يشك تقريبًا في كل شيء وصاغ مساره الخاص في الفيزياء الأساسية. معتقده الجوهري، الذى تطور عبر العقود، هو أن الفيزياء الكمية خاطئة.

ليس هناك شخص أكثر استحقاقًا أو إخلاصًا من تهوفت. أحد الأمور التي نحبها في ما يخصه نحن العاملين في مجال الجاذبية الكمية هو توافر وجوده في أغلب الأحيان. فهو يأتي إلى الكثير من لقاءاتنا، وهناك لا تراه أبدًا في الممرات، منهمكًا في النقاش مع الحاضرين البارزين. وبدلاً عن ذلك، يأتي كل جلسة، وهو شيء لا يفعله سوى الطلاب الشباب. يصل أولاً كل صباح، وهو يرتدي بشكل لا غبار عليه بدلة من ثلاث قطع (يرتدي بقيتنا بشكل عام الجينز والقمصان)، ويجلس في الصف في المقدمة طوال اليوم يستمع إلى الكلمات التي يلقيها كل طالب وأكاديمي بمفرده. لا يعلق دائمًا، بل حتى قد يغفو دقيقة أو اثنتين، لكن الاحترام الذي يبديه بوجوده هناك لكل من زملائه مثير للإعجاب. عندما يأتي دوره في الكلام، يقف ويقدم أفكاره ونتائجه بشكل لا ادعاء فيه. هو يعرف أن طريقه طريق غير مطروق، ولن أندهش إذا استاء منه. كيف لشخص أن يتخلى عن عباءة القيادة، وهو يستحقها تمامًا، فقط لأنه لا يفهم ميكانيكا الكم؟ تخيل ما يقوله ذلك عن شخصية شخص ما.

ثم جاء روجر بنروز. ببساطة، ليس هناك من ساهم أكثر في فهمنا واستخدامنا للنظرية النسبية العامة، سوى أينشتاين نفسه، من روجر بنروز. إنه أحد أربعة أو خمسة هم الأكثر موهبة والمفكرين المبتكرين بعمق الذين قابلتهم في مجالي. لقد قدم علماء رياضيات عظماء وعلماء فيزياء عظماء. مثل تهوفت، حفز الكثير من عمله في العقدين الماضيين اقتناعه بأن ميكانيكا الكم خاطئة. ومثل تهوفت أيضًا، كانت لديه رؤية في ما يجب أن يحل محلها.

كان بنروز يرى لعدة سنوات أن دمج الجاذبية في النظرية الكمية يجعل هذه النظرية غير خطية. وقاد ذلك إلى حل مشكلة القياس، وبذلك تسبب التأثيرات الجذبوية الكمية انهيار الحالة الكمية ديناميكيًا. وتم وصف مقترحات بنروز بشكل جيد في كتبه، رغم أنها لم تطبق حتى الآن في نظرية تفصيلية. ورغم ذلك، استطاع هو وآخرون استخدامها لتقديم تنبؤات لتجارب يمكن إجراؤها، وبعضها تحت التطوير حاليًا.

قلة منا هم من أخذوا أقوال بنروز بشكل جاد، بل واقتنع عدد أصغر بمصداقيتها. لكن أغلب علماء نظرية الأوتار – وبالتأكيد كل الاتجاه السائد بين علماء نظرية الأوتار – لم تبدر عنه بادرة الإنصات على أي حال. حتى لو لم يتم أخذ أغلب المستبصرين المبجلين بشكل جاد بمجرد البدء في الشك في الافتراضات الأساسية، يمكنك تخيل كيف يتدبر الأشخاص الجيدون أمر المستبصرين الذين ليس لديهم حسن الحظ الكافي لتقديم مساهمات جوهرية أولاً(٩).

لو أن العديد من أفضل علماء الفيزياء النظرية الأحياء يشعرون بأنهم مضطرون للشك في الافتراضات الأساسية للنسبية والنظرية الكمية، لا بد أن يكون هناك آخرون كانوا في هذا الوضع من البداية. هناك بالفعل أشخاص بدأوا، مبكرًا خلال دراستهم، التفكير في أنه يجب أن تكون النظرية الكمية خاطئة. تعلموها، ويمكنهم إنجاز أدلتها وحساباتها مثلهم مثل أي شخص. لكنهم لم يؤمنوا بصحتها. ما الذي حدث لهم؟

هناك تقريبًا نوعان من مثل هؤلاء الناس: الأشخاص المخلصون والأشخاص غير المخلصين. أنا واحد من هؤلاء الذين لم يجدوا أبدًا طريقة للاعتقاد في صحة ميكانيكا الكم، لكنني واحد من غير المخلصين. أي، لقد فهمت مبكرًا في تعليمي أنني لا أستطيع الحصول على مهنة لائقة كعالم فيزياء نظرية أكاديمي لو أنني ركزت على محاولة إعطاء معنى لميكانيكا الكم. لذلك قررت فعل شيء يمكن للاتجاه السائد أن يفهمه ويقدره بشكل جيد بما فيه الكفاية بحيث يمكنني متابعة مهنتي العادية.

لحسن حظي وجدت طريقة للتحقق من شكوكي حول الأسس بالعمل على شيء ما كاتجاه سائد مثل الجاذبية الكمية. وحيث إنني لا أعتقد في صحة ميكانيكا الكم في المقام الأول، كنت متأكدا إلى حد ما من أن هذا الجهد لا بد أن يفشل، لكن كان لديّ أمل في فهم أن الفشل قد يقدم مفاتيح حل حول ما يجب أن يحل محل النظرية الكمية. مبكرًا عن ذلك ببضع سنوات، كان لديّ القليل من الحظ مع مهنة تقوم على الجاذبية الكمية مقارنة بمهنة تقوم

على الخوف من أن تكون نظرية الكم خاطئة. ومع ذلك، كانت لديّ فرصة سهلة بينما كنت طالب دراسات عليا، وهي التعامل مع مشكلة الجاذبية الكمية باستخدام المناهج الحديثة التي تم تطويرها لدراسة النموذج المعياري. لذلك ادعيت أنني من نوع علماء الفيزياء أصحاب العلم العادي وتدربت باعتباري عالم فيزياء جسيمات. ثم أخذت ما تعلمته وقمت بتطبيق الجاذبية الكمية. منذ أن كنت من بين أول من جربوا هذه المقاربة، ومنذ استخدمت الأدوات التي فهمها قادة الاتجاه السائد، أدى ذلك إلى مهنة ممكنة ملائمة، إن لم تكن من الطراز الأول.

لكنني لم أستطع أبدًا أن أكبت بشكل كامل غريزة سبر أسس موضوعي. كتبت بحثًا في ١٩٨٢ بعنوان "حول العلاقة بين الكم والتموجات الحرارية" الذي بدا، عندما أنظر إليه الآن، لا يمكن تصديقه بالنسبة لي في الجرأة التي يتضمنها[١٠]. طرحت سؤالاً جديدًا عن كيفية التلاؤم بين المكان، والزمن والكم – السؤال الذي افتتح طريقًا كاملاً جديدًا لمعالجة المشكلة. حتى الآن، بعد أن كتبت الكثير من الأبحاث المهمة، أظن أن هذا كان أفضل أعمالي. بين- الفينة والفينة، أقابل طالبًا يعيد قراءة أسس الموضوع، أو انعزالي ما كان في الضواحي منذ عقود، ويقولان لي، "أوو، أنت سمولين هذا! لا أجد أي ارتباط أبدًا. أظن أنه توفى، أو ترك الفيزياء". والآن على الأقل، مع زملائي في بيريميتر، عدت أخيرًا إلى العمل على أسس ميكانيكا الكم.

ماذا عن الأشخاص المخلصين، الذي لم يؤمنوا بالافتراضات الأساسية مثل النسبية ونظرية الكم وليس لديهم شخصية لينة بما يكفي لكبت نزعاتهم؟ إنهم صنف خاص، ولكل منهم قصة يمكن أن تُحكى.

جوليان باربور Julian Barbour معروف للكثيرين الذي يتابعون العلم باعتباره مؤلف "نهاية الزمن"، حيث يقول فيه إن الزمن وهم(١١). هو عالم فيزياء غير عادي، الذي، منذ حصوله على الدكتوراه في ١٩٦٨ من جامعة كولون، لم يحصل أبدًا على عمل أكاديمي. لكنه كان بارزًا إلى حد كبير بين مجموعة صغيرة من الأشخاص الذين يأخذون الجاذبية الكمية بشكل جاد، حيث كان هو الذي علمنا معنى إنجاز نظرية مستقلة عن الخلفية.

كما حكى باربور، في رحلة تسلق للجبال أثناء الدراسات العليا، استحوذت عليه رؤيا أن الزمن قد يكون وهمًا. قاده ذلك إلى التحقق من جذور فهمنا للزمن، المتضمن في نظرية النسبية العامة. أدرك أنه لن يستطيع الحصول على مهنة أكاديمية تقليدية وهو قلق حول طبيعة الزمن. وأدرك أيضًا أنه لو كان عليه العمل على هذه المشكلة، فعليه أن يركز عليها بشكل كامل، دون أن تشتته ضغوط المهنة العادية في الفيزياء. لذلك اشترى بيتًا قديمًا في مزرعة في قرية صغيرة تبعد نصف ساعة من أكسفورد، وأحضر زوجته الجديدة هناك، واستقر للتفكير في الزمن. استغرق عشر سنوات أو نحو ذلك قبل أن يكون لديه ما يخبر به زملاءه. خلال هذه الفترة، كان لديه هو وزوجته أربعة أطفال، وعمل بشكل غير متفرغ كمترجم لإعالتهم. لم تكن الترجمة تأخذ منه أكثر من عشرين ساعة كل أسبوع، وتترك له الكثير

من الوقت للتفكير كما لدى معظم العلماء الأكاديميين بعد أخذ مسؤوليات التعليم والإدارة في الحسبان.

للتعرف على اتجاه في معنى الزمن في النسبية العامة، قرأ باربور بعمق في الموضوع، وهو يشق طريقه عائدًا في تاريخ الفيزياء والفلسفة. واستطاع في النهاية ابتكار نوع جديد من النظريات، حيث المكان والزمن ليسا سوى منظومة علاقات. بدأت أبحاثه حول هذا الموضوع تلقى الانتباه ببطء، وأخيرا أصبح عضوًا مبجلاً في جماعة الجاذبية الكمية. إعادة تفسيره لنظرية أينشتاين النسبية العامة كنظرية علاقة هي الآن الطريقة التي نفهمها بها نحن العاملون في المجال.

ليس هذا بالتقريب ما فعله باربور، لكنه يكفي لتوضيح كيف تختلف مهنة المستبصر الناجح عن مهنة عالم أكاديمي تقليدي. مثل هذا الشخص لا يتبع الموضة – وفي الواقع، ربما حتى لا يتبع مجالاً جيدًا بما يكفي لمعرفة ماهية الموضة. الأشخاص مثل هؤلاء لا يدفعهم سوى الاقتناع، الذي يُكتسب مبكرًا، بأن أي شخص آخر يفتقد إلى شيء ما مهم. تكون مقاربتهم أكثر تعمقًا، بحيث يرون بوضوح أن عليهم القراءة في مجمل تاريخ المسألة التي تستحوذ عليهم. يكون عملهم مركز إلى حد بعيد، ورغم ذلك يحتاجون إلى وقت طويل للوصول إلى مكان ما. ولتعزيز مهنة أكاديمية لا توجد أية نتيجة من أي نوع. جوليان باربور، عندما كان مستعدًا، غير العلم أكثر مما فعل أغلب العلماء الأكاديميين، لكن في العمر الذي يكون علماء الفيزياء الأكاديميون قد تخطوا سن تولي المناصب، لم يكن لديه مطلقًا أي شيء يقدمه لعمله.

تشبه مهنة باربور مهن المتسبصرين الآخرين، مثل تشارلز داروين Charles Darwin، الذي تقاعد أيضًا في الريف الإنجليزي ليجد الوقت للتفكير في فكرة كانت قد استحوذت عليه. قضى أينشتاين عشر سنوات وهو يفكر في أفكار أصبحت النسبية الخاصة، ثم قضى العشر سنوات التالية وهو يبتكر النسبية العامة. ومن ثم، فإن الوقت وحرية التفكير هما كل ما يحتاجه المستبصر للعثور على افتراض لم يتم فحصه. والباقي يصنعونه بأنفسهم.

شخص آخر مماثل هو دافيد فينكلشتاين David Finkelstein، بروفيسور متقاعد من معهد جورجيا للتقنية، قضى كل حياته يبحث عن منطق الطبيعة. أنجز الفيزياء بشكل مختلف عن أي شخص آخر. كان عمل حياته هو البحث عن الفهم، كما أوضح عندما تقابلنا للمرة الأولى، "كيف فكر الرب في إيجاد العالم". لم يفعل أبدًا غير ذلك، وكلما تقابلنا كان لديه تبصر جديد حول هذا الأمر. عبر الطريق، كانت هناك قلة من المشتقات. كان أول شخص يفهم ماهية أفق الحدث للثقب الأسود(١٢). كان أول من اكتشف السمات المهمة لفيزياء الحالة الصلبة وهي ما يسمى قوانين الحفظ الطوبولوجية، وكان أيضًا أول من درس تنويعة من البنى الرياضية – المجموعات الكمية، على سبيل المثال. تقدم حياته درسًا لنطاق من المساهمات التي يمكن لأي مستبصر تقديمها في كل طريقه إلى الحقيقة. بينما لم يكن لدى فينكلشتاين أية مهنة أكاديمية، هل يمكن لشخص مثله – شخص ينصت فقط لصوت داخلي ويتجاهل تقريبًا أي شيء آخر – الحصول على درجة بروفيسور هذه الأيام في جامعة رئيسية؟ أنت تتوهم.

وها هي قصة أخرى، وهي تشبه أكثر قصة باربور. بدأ أنتوني فالينتيني Antony Valentini بدرجة دون التخرج من كامبردج، كما فعل باربور. ثم تجول في أوروبا بضع سنوات، واستقر أخيرًا في تريست للدراسة مع دينيس سكياما Dennis Sciama، الذي كان مدرسًا في كامبردج لستيفن هاوكنج، وروجر بنروز، ومارتين ريس Martin Rees، وجورج إليس George Ellis، والعديد من عظماء النسبويين الآخرين وعلماء الكون. وفي أواخر حياته المهنية كان سكياما قد انتقل إلى تريست وأسس مجموعة في علم الفيزياء الفلكية في معهد إيطالي جديد اسمه SISSA (اختصارًا لـ Scuola Internationale Superiore di Studi Avanzati). كان فالينتيني واحدا من آخر طلاب سكياما، ولم يعمل في علم الفيزياء الفلكية، وبدلاً عن ذلك تابع العمل في النظرية الكمية، بناء على شعور قلبي بأنها بلا معنى. درس فكرة قديمة، كان قد تم تطويرها بواسطة لويس دو بروجلي في العشرينيات، وتسمى نظرية المتغيرات الخفية، وتبعًا لها هناك حقيقة وحيدة مختفية خلف معادلات النظرية الكمية. فكرة المتغيرات الخفية تم قمعها لعقود – رغم الدعم بواسطة أينشتاين، وشرودنجر وآخرين – جزئيًا بسبب البرهان الخاطئ الذي نشره جون فون نيومان John Von Neumann في ١٩٣٢ بأن هذه النظريات لا يمكن أن توجد. تم كشف الخطأ في النهاية بواسطة عالم النظرية الكمية دافيد بوم David Bohm في بداية الخمسينيات، الذي أعاد عندئذ نظرية بروجلي إلى الحياة. قدم فالينتيني تعديلاً جديدًا بالغ الأهمية لنظرية المتغيرات الخفية، وهو التحسين الأول في هذه النظرية منذ عقود.

أغلب أبحاثه عن ذلك تم رفضها بواسطة مجلات الفيزياء، لكن محتوياتها لقيت قبولاً واسعًا بين الاختصاصيين الذين يعملون على أسس ميكانيكا الكم.

فعل سكياما ما يستطيع لتشجيع ومساعدة فالينتيني، لكن لم تكن هناك مراكز أكاديمية متاحة لا في إيطاليا ولا في العالم الناطق بالإنجليزية لشخص تركز عمله على المسائل الأساسية. اقترح سكياما على فالينتيني أنه في حالة عجزه عن نشر مجموعته المتنامية من النتائج في المجلات، عليه كتابة كتاب عنها. بدون مركز، انتقل فالينتيني إلى روما، حيث ضمن أخيرًا وظيفة أكاديمية في جامعة روما. عندما انتهى ذلك، ظل في روما لأكثر من ست سنوات، في حب للمدينة وكأحد سكانها، داعمًا نفسه بإعطاء دروس خصوصية، بينما كان يطور نظريته ويضع نتائجها في كتابه[١٣].

بينما يعترف الكثير من قادة علماء الفيزياء بالشكوك الخاصة حول ميكانيكا الكم، فإن موقفهم العام هو أن مشاكلها تعود إلى العشرينيات. لا توجد رواية واسعة المعرفة عن آخر عمل على أسسها، لكنني أعرف أنه منذ الخمسينيات على الأقل، نشرت المجلات الرئيسية فقط بشكل انتقائي جدًا أبحاثًا غن هذا الموضوع، بينما استثنت عدة مجلات مثل هذه الأبحاث بسبب السياسة المقررة. وكما هو المعهود لم تدعم وكالات المنح والمؤسسات الحكومية الأساسية هذا العمل[١٤]، ومالت الأقسام الجامعية إلى عدم توظيف أشخاص ينجزون هذا العمل.

هذا التمرد العام هو جزئيًا نتيجة للانتقال من علم ثوري إلى علم عادي في الأربعينيات. كما في الثورة السياسية، يجب كبح التمرد لو كان على الثورة أن توحد مكاسبها. في السنوات المبكرة، كانت هناك عدة وجهات نظر وأيديولوجيات متنافسة حول تفسير نظرية الكم. وفي الأربعينيات، انتصرت وجهة نظر من بينها. وفي خلاف مع قيادة نيلز بور، تمت تسميتها تفسير كوبنهاجن. كان لبور وأتباعه حصة في إيقاف المجادلة، ولن أندهش إذا علمت أنهم استخدموا أدوات السياسة الأكاديمية لفعل ذلك، إذا عرفنا تورطهم في اختراع الأسلحة النووية، كانوا بالتأكيد في وضع جيد للنجاح. لكن حتى هؤلاء الذين لا يهتمون بالأيديولوجيا ورغبوا فقط في مواصلة إنجاز العلم العادي كان لديهم الدافع لخنق المجادلة في الموضوع. كانت نظرية الكم، من الجانب التجريبي والعملي، نجاحًا عظيمًا، ولم يكن الذين يصيغونها لوضع أفضل يرغبون في أن تزعجهم الشكوك المقلقة لأولئك الذين استمروا في القلق من أن هناك مشاكل عميقة حول كيفية صياغة النظرية وتفسيرها. كان ذلك وقت التحرك إلى الأمام.

هؤلاء الشكاك الذين ثابروا كان لديهم القليل من الخيارات. البعض أعادوا تسمية أنفسهم باعتبارهم فلاسفة ونشروا مناظرات متعمقة مطولة في مجلات الفلسفة. خلقوا ثقافة فرعية صغيرة حافظت على الأقل على الجدال حيًا. وحصلت قلة من الذين يمتلكون موهبة رياضية على وظائف في أقسام الرياضيات، حيث نشروا أعمالاً منهجية دقيقة جدًا حول بدائل صياغة ميكانيكا الكم التي تلقى إجماعًا. وحصل آخرون– بعضهم من أفضل

الأشخاص في المجال – على مرتبة بروفيسور في كليات صغيرة، حيث لا يتطلب الأمر تقديم منح أبحاث. حصلت قلة أخرى على مهن في الفيزياء تقوم على العمل في مجالات أخرى وكانوا يعملون من وقت إلى آخر في ميكانيكا الكم كنوع من الهوايات.

أحد هؤلاء "الهواة" كان جون ستيوارت بيل John Stewart Bell، الذي اكتشف فرضية مهمة حول نظريات المتغير الخفي في بداية الستينيات. بنى مهنته على عمل جيد في فيزياء الجسيمات، لكن الآن، بعد بضع سنوات من وفاته، من الواضح أن مساهمته الأكثر أهمية كانت عمله في نظرية الكم. يتم أحيانًا الاقتطاف من بيل على أنه قال إن على المرء إنجاز العلم العادي وقضاء ١٠ في المائة فقط من وقته ملاحقًا لنظرية الكم. عندما كان يتم ذكر هذا القول، كانت زميلي في بيريميتر لوسيان هاردي Lucien Hardy يحب التأمل في مدى مساهمة بيل في العلم لو أنه كان قد قضى المزيد من الوقت في النطاق الذي قدم فيه أكبر تأثير – باستثناء ذلك لم يكن من المرجح أن يحصل على عمل على أي حال.

ليس من المدهش أنه خلال هذه الفترة تم إحراز تقدم ضئيل في أسس ميكانيكا الكم. كيف كان يمكن أن يكون خلاف ذلك؟ بالطبع، كان هذا سببا كافيا لعدم التوظيف، أو التمويل، أو النشر لقلة من الأشخاص الذين أنجزوا التقدم.

الآن نعرف مدى خطأ الشكاك. منذ نحو عشرين عامًا، أدرك ريتشارد فينمان وقلة أخرى أنه قد يكون من الممكن إنجاز نوع جديد من الحساب باستخدام الظواهر الكمية بطريقة جوهرية. لم يتم استكشاف الاقتراح على نطاق واسع حتى تم الحصول على اقتراح أكثر تفصيلاً للحاسب الكمي في ١٩٨٥ بواسطة دافيد دوتش David Deutsch، وهو الآن في مركز الحوسبة الكمية في أكسفورد(١٥). ليس هناك مفكر في الأسس أفضل من دوتش، وكانت لديه الحوافز لابتكار حاسبات كمية بقلقه تجاه المشاكل الأساسية في كل من الرياضيات ونظرية الكم. ويمكن معرفة مدى أصالته ووضوحه كمفكر في كتابه المثير "نسيج الواقع"(١٦) حيث يشرح بالتفصيل نظرياته عن العوالم المتعددة. لا أتفق مع أغلب ما كتبه، لكنني أحب ما كتبه.

في ١٩٩٤، توصل بيتر شور Peter Shor من معهد مساشوسيتس للتقنية، والذي كان عالم حاسبات عندئذ في مختبرات بيل، إلى نتيجة مهمة، وهي أن الحاسبات الكمية الكبيرة بدرجة كافية قد تستطيع حل أية شفرة موجودة(١٧). ومنذ ذلك الوقت، تدفقت الأموال في مجال الحوسبة الكمية، حيث لم ترغب الحكومات في أن تكون آخر من يتم حل شفراتهم. ولقد دعمت هذه الأموال جيلاً جديدًا من العلماء الشباب بالغي الذكاء – علماء فيزياء، وعلماء حاسب، وعلماء رياضيات. لقد ابتكروا مجالاً جديدًا، دمج بين الفيزياء وعلم الحاسب، وجزء مهم منه يتضمن إعادة فحص لأسس ميكانيكا الكم. وكانت النتيجة المفاجئة، حوسبة كمية متحمسة، مع كميات كبيرة من الأفكار والنتائج الجديدة. يتعامل بعض من هذه النتائج مع

الاهتمامات المتعلقة بالأسس، وكان من الممكن اكتشاف أي منها في أي وقت منذ الثلاثينيات. وفي ما يلي مثال واضح حول كيف أن قمع مجال ما بالسياسة الأكاديمية يمكن أن يعيق التقدم لعقود.

في ١٩٩٩، بعد سبع سنوات من العزلة في روما، عاد أنطوني فالينتيني إلى بيت والديه في لندن. كانت عائلته قد هاجرت من قرية صغيرة في أبريزو، وامتلكت مخزنًا صغيرًا، وكانوا يرغبون في دعمه في عمله أيًا كان ما يستغرقه من وقت. قابلته هناك ذلك العام، عندما كنت في زيارة لبروفيسور في إمبريال كولدج، وبعد حوارات مع كريستوفر إشام، رئيس جماعة نظرية هناك، فقررنا أن نعرض عليه وظيفة أكاديمية وأن نعيده إلى العلم. كان في استطاعتنا أن نفعل ذلك لأنه كان لديّ دعم غير متوقع وسخي من متبرع حدث أنه كان مهتمًا بأسس ميكانيكا الكم. وشعرت بأن دعم أحد من الأشخاص القليلين الذي أثبت أنه يستطيع المساهمة في نتائج جديدة ومهمة في هذا المجال كان استخدامًا جيدًا لهذا المال. لو أنه كان قد تم تمويلي فقط من مؤسسة العلم القومية NSF، لما استطعت فعل ذلك. بقدر سخاء NSF معي من أجل عملي على الجاذبية الكمية، لعل المشاركة في المنحة مع أكاديمي يعمل على أسس النظرية الكمية كان سيضعف فرص التمويل في المستقبل.

الآن انضم إلينا فالينتيني في بيريميتر. ولا يزال يعمل على كتابه عن المتغيرات الخفية، لكنه أصبح في غضون ذلك شخصية قيادية في مجال أسس النظرية الكمية، ومتحدث تتم دعوته في الكثير من المؤتمرات التي

تتناول الموضوع. وينشر الآن بشكل منتظم، وأكثر أعماله حداثة يتعلق باقتراح جديد جرىء لاختبار ميكانيكا الكم برصد الأشعة السينية التي يعود أصلها بالقرب من الثقوب السوداء(١٨). مثل جوليان باربور، سمحت له سنوات عزلته المشاركة في التعليم الذاتي المتعمق، وليس هناك نقد أكثر تبصرًا أو أكثر ذكاءً في مجمل مجال نظرية الكم.

تذكر سبب أن باربور وفالينتيني لم يكن في استطاعتهما إنجاز أي شيء لو أنهما حاولا الحصول على وظيفة أكاديمية عادية. خلال المرحلة التي كان فيها أحدهم بشكل طبيعي بروفيسور مساعد أو مشارك، ويعمل بكل جهد لنشر أعماله ويحصل على شهرة كافية للفوز بدعوات ومنح أبحاث ضرورية لتثبيته في مركزه، لم ينشرا أي شيء. لكنهما كانا ينجزان دورًا عظيمًا. كانا يفكران، وبطريقة أكثر عمقًا وتركيزًا مما يمكن لمساعد بروفيسور أن يفعله، في قضية أساسية واحدة صعبة المراس. عندما برزا، بعد نحو عقد، كان لدى كل منهما وجهة نظر مدروسة بعناية، وأصلية وناضجة أدت إلى أنهما أصبحا ذوي أهمية. السلطة المكتسبة من قضاء هذه السنوات في الدراسة المركزة والتفكير والخروج منها بشيء جديد ومهم جعلتهما لا غنى عنهما بالنسبة لمن كانوا يهتمون بهذه القضايا.

بالنسبة للمستبصرين، تعتبر الحاجة للوجود على انفراد لمدة زمنية طويلة في بداية المهنة، وغالبًا في الفترات اللاحقة، أمرًا جوهريًا. يقول البعض إن جروثنديك Grothendieck هو عالم الرياضيات الحي الآن الأكثر قوة والأقوى بصيرة. كانت له مهنة غير تقليدية إلى أقصى حد. بعض من

مساهماته الأساسية، التي كانت خلاقة، لم يتم نشرها، لكنها أُرسلت بالبريد – على هيئة خطابات بمئات الصفحات مرسلة إلى أصدقاء ثم تم تبادلها بين دوائر صغيرة من أشخاص يمكنهم قراءتها. كان والداه لاجئين من الاضطهاد السياسي والحرب، وكبر في معسكرات اللاجئين بعد الحرب العالمية الثانية. ظهر في عالم الرياضيات في باريس كما لو أنه جاء من اللامكان. بعد حياة مهنية قصيرة لكنها مؤثرة بشكل غير عادي، انسحب إلى حد بعيد من الحياة العلمية في السبعينيات، جزئيًا على الأقل لأنه رفض التمويل العسكري للرياضيات. اختفى تمامًا في ١٩٩١، ورغم الشائعات بأنه كان يعيش كناسك في البيرينيس Pyrenees، ظل مكان وجوده غير مؤكد. من الواضح أنه كان حالة متطرفة. لكن عليك ملاحظة نظرة الإعجاب، والدهشة، بل ربما بعض الخوف على أوجه بعض من علماء الرياضيات بالغي المهارة عندما يأتي ذكر اسمه. وفي ما يلي كيف يصف بعض تجاربه:

في تلك السنوات المهمة تعلمت كيف أصبح وحيدًا. [لكن حتى] هذه الصيغة لم تستطع حقًا الإمساك بما لديّ من معانٍ. لم أكن، بأي معنى حرفي أتعلم لكي أبقى وحيدًا، ببساطة لأن هذه المعارف لم أتعلمها خلال طفولتي. إنها قدرة أساسية لدينا جميعًا من يوم مولدنا. مهما كانت هذه السنوات الثلاث من العمل في عزلة [١٩٤٥– ١٩٤٨]، عندما انسحبت إلى مواردي الخاصة، متتبعًا التوجيهات التي ابتكرتها أنا نفسي تلقائيًا، فإن هذا قد غرس فيّ درجة كبيرة من الثقة، التي كان منْ غير المفترض أن تستمر، في قدرتي على إنجاز الرياضيات، التي لا تدين بشيء لأي إجماع ولا للموضات التي تنتقل

كقانون... بذلك أعني: أن أصل بطريقتي الخاصة إلى أمور أرغب في تعلمها، أكثر من الاعتماد على مفاهيم الإجماع العام، صريحا أو ضمنيا، يأتي من عشيرة ممتدة تقريبًا التي وجدت نفسي عضوًا فيها، أو التي لأي سبب آخر تبتدع مزاعم تعتبر سلطة. لقد علمني هذه الإجماع الصامت، سيان في الليسيه أو الجامعة، أن على المرء ألا ينزعج من القلق حول المعنى الفعلي لاستخدام كلمة مثل "حجم" الذي كان "بديهي بوضوح"، "معروف بشكل عام"، "لا مشكلة فيه"، ..إلخ... وإنه لفي لمحة " الذهاب إلى ما هو أبعد" هذه، أن يكون الأمر في المرء نفسه أكثر من كونه رهنًا بالإجماع، الرفض في البقاء في دائرة جامدة رسمها الآخرون حول المرء – إنه لفي عمل العزلة هذا يجد المرء الإبداع الحقيقي. كل الأشياء الأخرى تتبع ذلك كأمر طبيعي.

منذ كانت لدى فرصة، في عالم الرياضيات الذي أعلن ترحيبه بي، مقابلة عدد كبير من الأشخاص، سيان من بين "الأكبر مني سنًا" أو من بين الشباب في جماعتي السنية العامة، الذين كانوا أكثر ذكاء، وأكثر "موهبة" مني. أعجبتني السهولة التي يلتقطون بها، كما لو في اللعب، أفكارًا جديدة، يتلاعبون بها كما لو أنهم على ألفة بها منذ كانوا في المهد – بينما كنت أنا نفسي أشعر بأنني أخرق، بل حتى ساذج، أتلوى صاعدًا بألم عبر مسار شاق، مثل ثور أبله يواجه جبلاً من الأشياء غير المنظمة التي كان عليّ تعلمها (بذلك كنت واثقًا)، أشياء شعرت بعجزي عن فهم أسسها أو تتبعها حتى النهاية. بالفعل، كان هناك القليل عني يحدد نوع الطالب الذكي الذي يفوز في المنافسات المهيبة أو القدرة على استيعاب، بخفة يد تقريبًا، الموضوعات المحظورة أكثر من غيرها.

بالفعل، أغلب هؤلاء الزملاء الذين حكمت عليهم بأنهم أكثر ذكاء مني تابعوا طريقهم ليصبحوا علماء رياضيات مشهورين. ورغم ذلك، من منظور ثلاثين أو خمس وثلاثين سنة، يمكنني القول بأن بصمتهم على رياضيات زمننا لم تكن بالغة العمق. لقد أنجزوا جميعًا أشياء، أشياء جميلة غالبًا، في سياق كان قد تم وضعه بالفعل قبلهم، والذي لم تكن لديهم نزعة للإخلال به. دون أن يكونوا على وعي به، ظلوا سجناء هذه الدوائر غير المرئية والقاهرة التي حددت طبيعة بيئة معينة في فترة زمنية ما. لكسر هذه الحدود كان عليهم أن يكتشفوا في أنفسهم من جديد القدرة على أن يكونوا منفردين(١٩).

إنها لفكرة مبتذلة السؤال حول ما إذا كان أينشتاين الشاب ليتم توظيفه الآن بواسطة أية جامعة. الإجابة بوضوح هي لا، لم يكن حتى ليتم توظيفه حينئذ. نحن الآن أكثر احترافًا بكثير، ويعتمد التوظيف على التنافس الصارم بين أشخاص لديهم تدريب عال في مهارات تقنية ضيقة. لكن البعض من الآخرين الذين ذكرتهم لا يمكن توظيفهم أيضًا. لو أن لدينا مساهمات هؤلاء الأشخاص، فإن هذا يعود إلى كرمهم – أو ربما مثابرتهم – في الاستمرار في العمل بدون دعم العالم الأكاديمي الذي يتم عادة تقديمه للعلماء.

في البداية قد يبدو من السهل تصحيح ذلك. لا يوجد الكثير جدًا من مثل هؤلاء الأشخاص، وليس من الصعب التعرف عليهم. تفكر قلة من العلماء في المشاكل الأساسية، وحتى أقل منهم لديهم أفكار حولها. ذات مرة أخبرني صديقي ستيوارت كوفمان، مدير معهد التعقد البيولوجي Biocomplexity وعلم المعلومات والبيانات في جامعة كالجاري، أنه ليس من

الصعب انتقاء أشخاص ذوي أفكار جريئة – يكون لديهم دائمًا تقريبًا القليل من هذه الأفكار على الأقل بالفعل. ولو لم يكن لديهم أي من هذه الأفكار في نهاية كلية التخرج أو بعد ذلك بسنوات قليلة، ربما لن تكون لديهم أبدًا. لذلك كيف تميز بين المستبصرين الذين لديهم أفكار جيدة والآخرين الذين يحاولون لكنهم لا يحصلون على مثل هذه الأفكار؟ هذا أمر سهل أيضًا. فقط اسأل المستبصرين الأكبر سناً. في بيريميتر، ليس لدينا مشكلة في انتقاء القليل من الشباب الذين يستحقون الرعاية.

لكن بمجرد التعرف على هؤلاء الأشخاص، تجب معاملتهم بشكل مختلف عن أولئك الذين ينجزون العلم العادي. أغلبهم لا يهتم بمن هو الأكثر ذكاء، أو من هو الأسرع في حل المشاكل التي يقدمها الاتجاه السائد في العلم العادي. ولو حاولوا التنافس، مع معرفة مدى صرامة التنافس، سوف يفشلون. لو أنهم في تنافس مع أي شخص، سيكون التنافس مع الجيل الأخير من الثوريين، الذي يتحدثون إليهم من الكتب والأبحاث القديمة التي لم يقرأها أي شخص آخر أبدًا. يوجد القليل من الأمور الخارجية التي توجههم، حيث يركزون على التضاربات وقضايا العلم التي يرغب معظم العلماء في تجاهلها. لو أنك انتظرت خمس سنوات أو حتى عشر، لن يبدو عليهم أنهم في حالة طيبة بالمعايير العادية. لا يمكنك أن تصاب بالذعر، لكن عليك تركهم وحدهم. وفي النهاية، مثل باربور وفالينتيني، سوف يظهرون بشيء كان يستحق انتظاره.

وحيث إنه لا يوجد الكثير من مثل هؤلاء الأشخاص، لا يجب أن يكون من الصعب إتاحة مكان لهم في المجتمع الأكاديمي. بالفعل، قد تظن أن الكثير من المعاهد، والكليات، والجامعة سوف يسعدها أن يكون لديها مثل هؤلاء الأشخاص. ولأنهم يفكرون بوضوح في أسس موضوعاتهم، يكونون ماهرين في الغالب، بل وحتى مدرسين فاتنين. لا يلهم الطلاب مثل مستبصر مملوء بالحماس. ولأنهم ليسوا متنافسين، فإنهم مستشارون وناصحون مخلصون ماهرون. مع ذلك، أليس العمل الرئيسي للكليات والجامعات أن تعلّم؟

بالطبع، هناك مخاطرة حقيقية. بعضهم لن يكتشف أي شيء، أنا أتحدث في ما يتعلق بالمساهمة الحقيقية في العلم عبر العمر. لكن عندئذ يحصل أغلب العلماء الأكاديميين، رغم نجاحهم بمصطلح المهنة، على منح، وينشرون كمية كبيرة من الأبحاث، ويذهبون إلى عدد كبير من المؤتمرات...إلخ – يساهمون بشكل متزايد فقط في العلم. على الأقل نصف زملائنا في الفيزياء النظرية يفشلون في إنجاز مساهمة فريدة أو باقية حقًا. هناك اختلاف بين الحياة المهنية الجيدة والحياة المهنية الجوهرية. لو أنهم فعلوا شيئًا آخر بحياتهم، لكان العلم قد استمر هو نفسه إلى حد كبير. لذلك فإنها مخاطرة في أي من الطريقين.

طبيعة وتكاليف الأنواع المختلفة من المخاطرة هي قضايا يفهمها الأشخاص في مجال الأعمال بشكل أفضل من المديرين الأكاديميين. إنه لأمر أكثر سهولة إلى حد كبير أن تجري حديثًا مفيدًا وصريحًا حول ذلك مع شخص في مجال الأعمال من أن تجريه مع أي أكاديمي. سألت ذات مرة

رأسماليا ناجحا في مجالات مبتكرة كيف قررت شركته مدى ما تدخل فيه من مخاطر. قال إنه لو كان هناك أكثر من ١٠ في المائة من الشركات التي يمولها تكسب مالاً، فإنه يعرف أنه لم يدخل في ما يكفي من المخاطرة. ما يفهمه هؤلاء الأشخاص، ويتعايشون معه، هو أنك يمكنك الحصول على أعلى عائد إجمالي، وهو ما يعبر عن أعلى معدل للتقدم التقني، عندما يفشل ٩٠ في المائة من الشركات الجديدة.

أرغب في إجراء حديث صريح حول المخاطرة مع مؤسسة علم قومية. لأنني متأكد من أن ٩٠ في المائة من المنح التي تعطيها في مجالي تفشل، عندما يتم قياسها مقابل المعيار الحقيقي: هل تؤدي هذه المنح إلى تقدم العلم وهو ما لن يحدث لو أن شخصًا تلقى منحة لم يعمل في المجال؟

كما يعرف أي شخص ماهر في مجال الأعمال، هناك اختلاف بين استراتيجيات المخاطرة المنخفضة/الربح المنخفض والمخاطرة المرتفعة/الربح المرتفع، بداية من حقيقة أنها مصممة بأهداف مختلفة في الفكر. عندما ترغب في تشغيل خط جوي أو منظومة حافلات أو تصنيع صابون، فإنك ترغب في الأول. وعندما ترغب في تطوير تقنيات جديدة، لا يمكنك النجاح بدون الثاني.

ما لم أستطع تقديمه هو جعل مديرين الجامعة يفكرون بهذه المصطلحات. إنهم يضعون معايير للتوظيف، والتشجيع، والتثبيت في الوظائف كما لو أنه كان هناك فقط علماء طبيعيون. لا يجب أن يكون هناك

ما هو أكثر بساطة من تغيير المعايير قليلاً لإدراك أن هناك أنواعا مختلفة من العلماء، لهم أنواع مختلفة من المواهب. هل ترغب في ثورة في العلم؟ افعل ما يفعله الأشخاص في مجال الأعمال عندما يرغبون في ثورة تقنية: يغيرون فحسب القواعد قليلاً. دع قلة من الثوريين يعملون. اجعل التراتبية في حالة مساواة ولو قليلاً، لتعطي الشباب المزيد من فرص العمل والحرية. ابتكر بعض الفرص للأشخاص مرتفعي المخاطرة/ مرتفعي الربح، لكي توازن الاستثمار الهائل الذي تقدمه لعلم المخاطرة المنخفضة، الرابح. تستخدم شركات التقنية وبنوك الاستثمار هذه الاستراتيجية. لماذا لا يتم تجربتها في المجتمع الأكاديمي؟ يمكن أن يكون الربح هو اكتشاف كيفية عمل الكون.

١٩

كيف يعمل العلم بالفعل

فكرة تغيير طريقة إنجاز العلم في الجامعات سوف تجذب دون شك اهتمام البعض، بينما تصدم آخرين. لكن ربما لا يكون هناك ما يهدد بحدوثها. لتفسير السبب، نحتاج إلى فحص الجزء الضعيف المظلم في الحياة الأكاديمية. لأنها، كما يخبرنا علماء الاجتماع، ليست حول الحكمة فحسب، فهي حول السلطة: من يملكها، وكيف يتم استخدامها.

هناك سمات معينة لجامعات الأبحاث لا تشجع التغير. الأولى هي مراجعة الأنداد peer review، حيث القرارات حول العلماء تتم بواسطة علماء آخرين. تمامًا مثل التثبيت في الوظيفة، هناك فوائد لمراجعة الند تفسر ما تعتقد الجامعة أنه أساسي لممارسة العلم الجيد. لكن هناك تكاليف، ونحتاج إلى الانتباه لها.

أنا متأكد من أن الشخص المتوسط ليس لديه فكرة عن كمية الوقت الذي يقضيه الأكاديميون لاتخاذ قرارات حول توظيف أكاديميين آخرين. أنا أقضي بالتقريب خمس ساعات أسبوعيًا في لجان تناقش الحياة المهنية لأشخاص آخرين أو في كتابة خطابات لتقرأها مثل هذه اللجان. ظللت أفعل

ذلك لبعض الوقت. وإنه لجزء أساسي من عمل أي بروفيسور، ويقضي الكثير من البروفيسورات الذين أعرفهم وقتًا فيها أكثر مما أفعل. هناك أمر واحد مؤكد: إذا لم تورط نفسك بعرض واضح لانعدام المسئولية أو تثبت أنك غير قابل للتنبؤ إلى حد كبير أو أنك إلى حد كبير ممن لا يحوزون الثقة، كلما طال كونك عالمًا، وكلما ازداد الزمن الذي تقضيه في التطفل على السير المهنية لعلماء آخرين. ليس الأمر فقط أنه سيكون لديك المزيد والمزيد من الطلاب، والدارسين الأكاديميين، والمساعدين الذين يحتاجون إلى خطابات مكتوبة من أجلهم، بل ستكون مشاركًا أيضًا في قرارات التوظيف للجامعات والمعاهد الأخرى.

هل درس أي شخص في الإدارة في أي وقت ما يكلفنا هذا النظام؟ وهل هو أمر ضروري بالفعل؟ هل يمكننا أن نقضي وقتًا أقل في ذلك ويكون لدينا المزيد من الوقت للعلم والتعليم؟ لديّ فقط القليل من التقدير لهذا النظام، وإنه لمروع. لا يمكن لأي قسم أو معهد له طموح أن يوظف بدون استشارة شبكة من اللجان الزائرة والاستشارية مزودة بعلماء كبار في السن ذوى نفوذ من مؤسسات أخرى. هناك أيضًا هيئات تدريس تمدها وكالات تمويل في الولايات المتحدة، وكندا، وأوروبا، وحول العالم. ومن ثم هناك كل الاتصالات غير الرسمية، والمكالمات الهاتفية، والمحادثات التي يُطلب منك خلالها التقييم الصريح والخصوصي لقائمة من المرشحين للوظائف. بعد نقطة محددة، يمكن للعالم الناجح أن يقضي ببساطة كل وقته في سياسة من يتم توظيفه وأين؟

يطلق على ذلك مراجعة الند. إنه اسم مضحك، لأنه يختلف بوضوح عن مفهوم أي هيئة محلفين على أنداد شخص ما، وهو ما يعني أنه يتم الحكم عليك بواسطة أشخاص يشبهونك فحسب، من المفترض أنهم عادلون وموضوعيون. هناك جزاءات حقيقية – السجن – للمحلفين الذين يحجبون أي تحيز.

في العالم الأكاديمي، باستثناءات قليلة، الأشخاص الذين يقيمونك أكبر سنًا منك، وأكثر قوة. هذا حقيقي عبر كل طريقك في صعود السلم، من أول منهج دراسي في الكلية إلى التطبيقات التي تنجزها من أجل المنح عندما تكون بروفيسورا. لا أرغب في التقليل من شأن العمل الشاق الذي يقوم به كثيرون في خدمة مراجعة الند. الأغلبية تقوم به بإخلاص. لكن هناك مشكلات كبيرة فيه، وهي تتعلق بحالة الفيزياء اليوم.

إحدى النتائج الثانوية غير المقصودة لمراجعة الند هي أنه من السهل أن يصبح آلية للعلماء الأكبر سنًا لفرض الاتجاه على العلماء الأكثر شبابًا. هذا أمر بالغ الوضوح حتى إنني أندهش لمدى ندرة مناقشته. النظام مؤسس بحيث يمكننا نحن العلماء الأكبر سنًا أن نكافئ أولئك الذين نحكم عليهم بأنهم يستحقون بمهن جيدة ونعاقب أولئك الذين نحكم عليهم بأنهم لا يستحقون بعقوبة من جماعة العلم. قد يكون هذا أمرا طيبا لو أن هناك معايير واضحة ومنهجية واضحة للتأكد من موضوعيتنا، لكن، على الأقل في الجزء الأكاديمي حيث أعمل، لا يوجد أي من هذين الأمرين.

كما ناقشنا بالتفصيل، الأنواع المختلفة من العلماء الذين يساهمون في الفيزياء النظرية، ولديهم كلهم جوانب القوة والضعف المختلفة. مع ذلك، هناك اعتراف ضئيل بذلك، وبدلاً عن هذا، نتحدث ببساطة عن من هو "المناسب" ومن هو "غير مناسب" – أي، تقوم مراجعة الند على افتراض تبسيطي وواضح الخطأ، بأن العلماء يمكن تصنيفهم كما لو أنهم على سلم ما.

عندما قرأت أول دفعة لي من خطابات التزكية لمساعد بروفيسور جديد في يال في ١٩٨٤، لم أصدق ما فيها. بينما قد ينقل خطاب ملائم كمية كبيرة من المعلومات ويقدم محاولة ما تعبر عن الاختلافات الضئيلة، كانت هناك كمية كبيرة من الاهتمام بالمقطع الأخير، الذي يقدم عادة تصنيفًا مقارنًا للمرشح للوظيفة: "س أفضل من أ، و ب، و ج، لكنه ليس ملائمًا مثل د، و ع، و ص، و ك". قرأت آلافًا من خطابات التزكية حتى الآن، ونصفها على الأقل تحتوي على نوع ما من هذه الجملة. في السنوات السابقة، كانت هناك قلة من الأمثلة عندما كنت الشخص أ، أو ب، أو ج. أتذكر الموافقة على أن المرشح للوظيفة س كان أفضل مما كنت عليه بالفعل – وفي الواقع بعض هؤلاء الأشخاص س انطلقوا في طريقهم وقدموا أعمالاً جيدة. لكنني لم أكن لأفاجأ لو أوضحت الأبحاث أن هذه التصنيفات كانت، في المتوسط، تنبؤات بائسة بالنجاح الحقيقي في العلم. لو كنا نهتم بالفعل بإجراء توظيفات ملائمة، لكنا قد استطعنا إنجاز مثل هذه الأبحاث. بالتأكيد، ليس هناك قلة من الحالات حيث لا ينتهي أمر الأكاديميين مرتفعي المرتبة أو مساعدي البروفيسور فيها إلى تقديم الكثير وعدم الحصول على التثبيت في الوظيفة.

ما يجعل هذه الممارسة أكثر إثارة للمشاكل أيضًا هو عدم وجود عقوبات على التحيز. سيكتب أي بروفيسور دون خجل خطابات تنحاز إلى طلابه، أو لأشخاص يتبعون برنامج بحثه الخاص، أو حتى لأشخاص من جنسيته. قد نلاحظ (أو نسخر من) أمثلة منافية للذوق حقًا، لكن لا أحد يظن أنها غير عادية. إنها فحسب جزء من النظام.

ها هي قاعدة أساسية للتنبؤ بنوع العالم الأصغر الذي سيزكيه العلماء الأكبر سنا: هل يذكرهم العالم الأصغر بأنفسهم؟ لو أنك رأيت نوعا أكثر شبابًا من نفسك في س، عندئذ لا بد أن يكون س ملائما حقًا. أنا أعرف أنني مذنب في ذلك، وأقول هذا بكل صراحة. لو أنك ترغب في توظيف المزيد من الأشخاص مثلي، فأنا ممتاز في التقاطهم. لو أنك ترغب في الحصول على تمييز دقيق بين الأشخاص المختلفين جدًا عني، الذين يعتبرون ملائمين في أشياء أنا غير ملائم لها أو لا أعتز بها، لا تثق في أحكامي(١).

حتى بالنسبة لمن هم من بيننا الذين يسعون لأن يكونوا عادلين، ليس هناك إرشاد أو تدريب حول كيفية أن يكون المرء موضوعيًا. لم أتلق أبدًا أية نصيحة حول كيفية كتابة أو تفسير خطابات التزكية، ولم أر أبدًا أي توجيهات حول التعرف على علامات التحيز أو التنميط في وجهة نظرك أو وجهات نظر الآخرين. لقد قدمت خدمات للكثير من لجان التوظيف، والتثبيت في الوظائف، والتشجيع، لكنني لم أتلق أية تعليمات أبدًا، حيث يكون لدى المحلفين تعليمات، أو كيفية التقييم الأفضل للدليل.

ذات مرة في احتفال غداء سألت أشخاصًا في مسارات أخرى من العمل ما إذا كان قد تم تدريبهم في مثل هذه الأمور. كل شخص لم يكن أكاديميًا لكن كانت لديه مسئوليات عن التوظيف أو الإشراف على أشخاص آخرين تم إعطاؤه عدة أيام من التدريب على التعرف على ومجابهة علامات عدم العدالة أو التحيز، وفي الإقلال من تأثيرات التراتبية، وفي تشجيع التنوع والاستقلال في التفكير. كانوا يعرفون كل شيء حول "توجيه الأصوات في مؤسستك" وإلقاء "نظرة ٣٦٠ درجة على المرشحين لنيل الوظائف" بالحصول على تقييمات من أشخاص كان المرشحون يشرفون عليهم وأيضًا من أشخاص كان يشرفون على المرشحين. لو أن المحامين، والمصرفيين، ومنتجي التيلفزيون، ومحرري الصحف تم اعتبار أنهم في حاجة إلى توجيه حول كيفية اتخاذهم قرارات حكيمة وعادلة، لماذا نفترض أننا نحن العلماء الأكاديميون يمكننا فعل ذلك تلقائيًا؟

بل الأمر فضلاً عن ذلك أسوأ. خلف الخطابات الرسمية للتزكية شبكة من المحادثات السرية وغير الرسمية مع الخبراء: "ما رأيك في كذا وكذا؟ من تظن أننا يمكننا توظيفه؟".

هذه المحادثات صريحة. والاستعداد لنقاش حاد والإصرار على المعارضة. وليس هذا سيئا كله. يحاول الكثير من الأشخاص الارتقاع إلى مستوى التحدي وأن يكونوا ذوي منفعة، لكن المستوى المتوسط للموضوعية منخفض بشكل صادم. وهنا، بشكل خاص، لا ثمن يتم دفعه للمقامرة بالنظام لصالح أصدقائك وطلاب أصدقائك. من الشائع لدى الخبراء الرسميين حث طلابهم والأكاديميين تبعهم، برفعهم على الآخرين بلا سبب، خاصة الطلاب المنافسين.

حتى في هذه المقايضات الصريحة، يندر أن تسمع تعليقات سلبية حقيقية. عندما لا يكون لدى الأشخاص أمر جيد ليتم وضعه في التقرير، سيقولون غالبًا فحسب، "دعنا ننتقل. ليس لدى بالأحرى أي تعليق" أو شيء رقيق مثل "لا يثيرني ذلك". لكن هناك أوقات حيث يستدعي مجرد ذكر اسم ما "لا مطلقًا!". أو "لا تذهب إلى هذا الحد" أو "هل تمزح؟" أو بشكل قاطع "على جثتي!". في خبرتي، في كل مرة مماثلة يقع المرشح في أحد الطرفين وغالبًا في اثنين من التصنيفات التالية: إنهم (١) أنثى، (٢) ليس أبيض، و/أو (٣) شخص يخترع برنامج أبحاثه الخاص أكثر من كونه يتبع الاتجاه السائد. هناك بالطبع نساء ومن هم غير بيض لا يثيرون الاعتراضات. ولكن، ومن جديد تبعًا لخبرتي، تلك حالات يكون فيها المرشحون ملتزمين بإحكام ببرنامج أبحاث رسمي.

هناك صراع ملتهب بين علماء الفيزياء حول عدم وجود المزيد من النساء والسود في الفيزياء، مقارنة بالمجالات الأخرى المماثلة في تحدياتها، مثل الرياضيات وعلم الفلك. أعتقد أن الإجابة بسيطة: إنه التحيز المنافي للذوق. أي شخص عمل، مثلي، عقودًا في لجان التوظيف ولم ير التحيز المكشوف وهو يحدث إما أنه أعمى أمامه أو غير شريف. هناك قواعد وأخلاق للسرية تمنعني من إعطاء أمثلة، لكن هناك دراسات تفصيلية متعددة تحكي القصة[٢].

ربما من المتوقع أن يكون التحيز شرسا في هذا المجال. كم من علماء الفيزياء النظرية الرواد كانوا ذات مرة أولادًا مفتقرين إلى الثقة بالنفس، وصغارًا، ومصابين بالبثرات كانوا يفرغون غضبهم بإلقاء النكات "من

يحصل على الفتيات" في أي مكان يستطيعون فعل ذلك فيه – فصل الرياضيات؟ كنت أحد هؤلاء، على الأقل حتى اكتشفت ما تدور حوله الدعابات، إنها كلها تدور حول الثقة بالنفس. لكنني لا أزال أتذكر الشعور بالغرور حول قدراتي في الجبر، ويمكنني الإقرار بأن، على الأقل في ما يخصني، إثبات الهوية بالمهارات في الرياضيات مع الذكورية كان يحدث بعمق جدًا. لكن من ثم، لماذا يكون لدى النساء صعوبة في الحصول على وظائف كعلماء رياضيات بشكل كامل أقل من حصولهن على وظائف علماء الفيزياء؟ لأن الأمر يكون أكثر وضوحًا في الرياضيات عندما تنجز شيئًا جيدًا. الفرضية إما يتم البرهنة على صحتها أو لا يتم ذلك، بينما التقديرات المستخدمة في تصنيف علماء الفيزياء النظرية أكثر إسهابًا بكثير، مما يسمح بمزيد من المساحة للتحيز. لا يكون الأمر سهلاً باستمرار، على سبيل المثال، للتمييز بين عالم نظريات جيد وآخر جازم فحسب. لاحظ أنه بينما كان هناك دائمًا نساء موسيقيات موهوبات، فإن عدد النساء اللائي يتم توظيفهن بواسطة فرق الأوركسترا ارتفع بشدة عندما بدأ المرشحون للوظائف يتقدمون لامتحان فحص الأداء خلف ستار.

هذا هو سبب وجود أداء القبول. في كل تجربتي، لم أر أبدًا امرأة أو إفريقيا أمريكيا تم توظيفه خلال برنامج أداء قبول لم يكن يستحقه بقوة – أي، لم يكن هو أفضل المتقدمين بالفعل بشكل قابل للمناقشة. عندما لا نجد لجان التوظيف متكونة فقط من رجال بيض وتوقفنا عن سماع تعبيرات التحيز الصريح، عندئذ يمكننا التخفيف من صرامة أداء القبول. كما هو واضح، الأشخاص المختلفون – الذين، لسبب أو لآخر، يجعلون علماء الفيزياء

الذكور كبار السن الأقوياء منزعجي البال – لا يتم توظيفهم. هناك أداء قبول للأشخاص الذين يختلفون بوضوح، مثل النساء والسود. لكن ماذا عن الأشخاص الذين يفكرون بشكل مختلف فحسب – الذين يرفضون مقاربات الاتجاه السائد لصالح أفكارهم الخاصة؟ هل يجب أن يكون هناك أداء قبول لهم، أيضًا؟

الكثير منا يشارك في مراجعة الند بأفضل اهتمام في الاختيار الأخلاقي والموضوعي. وعندما يكون كل شيء آخر متساويًا، فإنه يتم اختيار المرشح الذي يستحق الوظيفة أكثر من غيره. أي، عندما تهبط إلى مستوى مقارنة الرجال البيض مع ذوي الخلفية السوداء في نفس العمر، الذين يتابعون كلهم نفس برنامج الأبحاث، سوف ينتقي النظام بشكل عام الشخص الذي يكون أكثر ذكاء والذي يعمل بجهد أكبر. لكن المشكلة هي أن عليك فعل الكثير قبل أن تصل إلى النقطة التي تجد عندها كل شيء متساويًا. وحتى الوصول إلى هذه النقطة، تكون العملية سياسية. إنها الآلية الأولية التي يمارس بها العلماء كبار السن والأكثر قوة السلطة على العلماء الأكثر شبابًا.

يعمل ذلك من أجل عملية الإجماع المفروض، حيث يضمن العلماء الأكبر سنًا أن يتبع العلماء الأكثر شبابًا اتجاهاتهم. هناك بعض الطرق البسيطة حيث تتم ممارسة هذه السلطة. على سبيل المثال، المرشحون لموقع في هيئة يحتاجون إلى خطابات من الكثير من الأشخاص، وكلهم أكثر قوة من المرشح. أحد الخطابات غير الإيجابي كما يجب سيقضي عادة على التوظيف. عندما واجهت للمرة الأولى فرط خطابات التزكية هذا، أصابني

الارتباك. بالتأكيد يمكنك الحصول على صورة جيدة عن المرشح من ثلاثة أو أربعة خطابات. لماذا تكون عشرة أو خمسة عشر، وهو العدد المطلوب في الغالب بواسطة الجامعات ذات المرتبة العالية؟

أحد الأسباب هو أن الهدف ليس فقط توظيف علماء جيدين. توظيف اللجان، وشاغلي الكراسي، والعمداء يكون له غالبًا هدف آخر في التفكير، وهو رفع (أو في حالات حسن الحظ المحافظة على) مكانة القسم. وأعنى بذلك أمرا ذا أهمية أعلى مما يعد به العلماء الشباب، لأن مقاييس المكانة يتم الحصول عليها بتصنيف رقمي. ويتم ذلك بواسطة أشخاص من الخارج يقومون بالتقييم، ويجمعون انطباعاتهم على أرقام مثل تمويل المنحة الكلي وعدد التنويهات. يجب أن يهتم شاغلو كراسي القسم والعمداء بذلك، لأن مثل هذه الأمور لها عواقب مالية قاسية تتعلق بمهنهم كمدراء. من المهم، بادئ ذي بدء، توظيف أشخاص من المرجح أن يفوزوا بدعم منحة سخي. من هنا التفضيل الفوري لأعضاء برامج الأبحاث الرسمية الكبيرة على البرامج الجديدة. بطلب الكثير من الخطابات، يمكنك قياس كيف سيميز العلماء المهمون الأكبر سنًا بالفعل الموظفين المحتملين. لذلك فإن الهدف ليس توظيف عالم من المرجح أكثر أن ينجز علمًا جيدًا ولكن عالم ترفع مكتسباته مكانة القسم إلى حد الكمال على المدى القصير. هذا هو سبب أن لجان التوظيف لا تبذل مجهودًا كبيرًا على قضايا المدى البعيد، مثل من الأكثر ترجيحًا من بين المرشحين ستكون لديه أفكار مبتكرة مهمة في عشرين عامًا. وبدلاً عن ذلك، يرغبون في معرفة أن من عشرة إلى خمسة عشر عالمًا أكبر سنًا يرون أن المرشح هو عضو من المرتبة العليا في جماعتهم.

لكن للاستنباط من مثل هذا العدد الكبير من الخطابات الإيجابية، عليك أن تكون جزءًا من برنامج أبحاث كبير. لو أنك في برنامج صغير مع أقل من عشرة أشخاص أكبر سنًا في موقع يسمح لهم بالحكم عليك، قد تكون مرغمًا على طلب تقييمات من أشخاص لا يتفقون مع ما تفعله أو تكون برامجهم في تنافس مع برنامجك. لذلك يكون الأمان فقط في الأرقام. ولا غرْوَ أن برامج الأبحاث الكبيرة هي التي تهيمن!

لا شك في أن مثل هذا النظام استفاد من نظرية الأوتار وجعلها أكثر صعوبة بالنسبة للأشخاص الذين يتبعون برامج أبحاث بديلة. وكما لاحظت مقالة حديثة في نيويورك تايمز، "مازال على العلماء تطوير أكثر من شظايا ما يفرضون أنه سيكون في النهاية نظرية كاملة. ورغم ذلك، يجمع علماء نظرية الأوتار بالفعل الغنائم التي تذهب عادة إلى المنتصرين التجريبيين، بما في ذلك المنح الفدرالية، والجوائز المهيبة، ومناصب التثبيت في الكلية". وتم اقتطاف في نفس المقالة لدافيد جروس David Gross، المدير الآن في معهد كافلي للفيزياء النظرية في سانتا باربارا البريطانية، وهو يقول "في الوقت الراهن، لو كنت عالم نظرية أوتار شابا بارعا فقد حصلت على كل شيء"[٣].

فكرتي هنا ليست نقد نظرية الأوتار، فعلماء نظرية الأوتار يسلكون فحسب طرقا يتبعها أعضاء أي برنامج أبحاث مهيمن. المشكلة أن لدينا نظام اتخاذ قرارات في المجتمع الأكاديمي معرض إلى حد بعيد للاستيلاء عليه من قبل برنامج أبحاث يلقى رواجًا بشكل عدواني بغض النظر عن النتائج. ونفس النظام عمل ذات مرة ضد علماء نظرية الأوتار. وكما لاحظ الصحافي جاري تاوبيس Gary Taubes،

في ٤ أغسطس ١٩٨٥، كنت أجلس في حانة في سيرن أشرب الجعة مع ألفارو دو راجولا... تنبأ دو راجولا بأن ٩٠ في المائة من علماء النظريات سيعملون على الأوتار الفائقة وما يتصل بالتماثل الفائق، لأنهما على الموضة. وعندما لمح إلى أن هذه لم تكن حالة سليمة، سألته ما الذي يفضل عمله. بدلاً عن الإجابة المباشرة، استطرد في كلامه. "يجب تذكر"، قال لي راجولا، "أن الشخصين الأكثر مسئولية عن تطور الأوتار الفائقة، وهما جرين وشوارز، قضيا من عشر إلى خمس عشرة سنة بشكل منتظم يعملان على شيء لم يكن على الموضة. في الواقع سخر منهما الناس لالتزامهما العنيد بها. لذلك عندما يأتي الناس ويحاولون إقناعك بأن على المرء أن يعمل على موضوع أكثر مراعاة للموضة، فالمطلوب عندئذ تذكر أن الخطوات العظيمة يتخذها عادة أولئك الذين لا يعملون على أكثر الموضوعات ارتباطًا بالموضة"[٤].

ذات مرة ناقشت هذا الموقف مع شاغل كرسي أستاذية في أحد الأقسام في جامعة رئيسية تفجع على أنه لم يكن في استطاعته إقناع زملائه بتوظيف جون شوارز John Schwarz في بداية الثمانينيات. "وافقوا على أنه كان عالم نظريات ذكيا إلى حد مدهش"، قال، "لكنني لم أستطع إقناعهم، لأنهم قالوا إنه تستحوذ عليه نظرية الأوتار وربما لن يعمل أبدًا على أي شيء سواها. وفي هذه الأيام لا يمكنني إقناع زملائي بتوظيف أي شخص لا يكون عالم نظرية أوتار".

أتذكر أيضًا مناقشة لهذه المسائل مع أبراهام بايس Abraham Pais، عالم فيزياء الجسيمات وكاتب سيرة بور وأينشتاين. اعتدنا أن نتقابل أحيانًا لتناول الغداء في جامعة روكفيلر في نيويورك، حيث كان بروفيسورًا وحيث كان لي ذات مرة مكتب هناك. "ليس هناك ما يمكنك فعله"، قال لي بايس. "في أيامي، أيضًا، كانوا جميعًا يتصفون باللؤم!".

أظن أن بايس أساء التعبير. لا يرتبط هذا الأمر بالأشخاص، بل يدور حول كيفية ترتيبنا لعملية اتخاذ القرار الأكاديمي. إنه حول ضمان أن يحصل أنواع العلماء المطلوبين لتطوير العلم على الفرص الصحيحة.

لهذا النظام توابع مهمة أخرى بالنسبة لأزمة الفيزياء: الأشخاص ذوو المهارات التقنية المؤثرة وليست لديهم أفكار يتم تفضيلهم على الأشخاص الذين لديهم أفكار تخصهم جزئيًا لأنه لا توجد ببساطة طريقة لتصنيف الشباب الذين يفكرون من أجل أنفسهم. النظام موضوع ليس فقط لإنجاز العلم العادي ولكن لضمان أن العلم العادي هو ما يتم إنجازه. كان هذا واضحا لي عندما تقدمت بطلب توظيف لأول وظيفة لي بعد التخرج من الدراسات العليا. في أحد الأيام، بينما كنا ننتظر نتائج طلباتنا للتوظيف، جاء صديق وبدا عليه القلق الشديد. لقد طلب منه زميل أصغر سنًا أن يخبرني بأنه ليس من المرجح أن أحصل على أية وظيفة، لأنه كان من المستحيل مقارنتي بالأشخاص الآخرين. لو كنت أطلب وظيفة، عليّ التوقف عن العمل على أفكاري الخاصة والعمل على ما يفعله الأشخاص الآخرون، لأنه عندئذ فقط يمكنهم تصنيفي في مواجهة أندادي.

لا أتذكر ما ظننته تجاه ذلك أو سبب أنه لم يجعلني مهتاجًا من القلق. كان عليّ الانتظار شهرين أكثر من أي شخص آخر للحصول على عرض عمل ولم يكن ذلك أمرًا ممتعًا. كنت أفكر بالفعل في ما أستطيع فعله لدعم نفسي ولا يستغرق وقتًا طويلاً من وقت الأبحاث. لكنني كنت محظوظًا حينئذ. كان معهد الفيزياء النظرية في سانتا باربارا قد فتح توًا، وكان فيه برنامج عن الجاذبية الكمية. لذلك لم تنته حياتي المهنية.

لكن الآن فقط أفهم ما كان يحدث بالفعل. لم يكن أحد يقوم بأعمال غير أخلاقية بشكل واع. كنت أهتم بأفضل الطرق بصديقي ومعلمه الخاص، كما يفهمان الاهتمام، وهو الاهتمام الفكري. لكن هنا كيف يصف عالم اجتماع ما كان يحدث. الزميل الأكبر سنًا الذي أعطى الرسالة لصديقي كان من رواد برنامج أبحاث جديد يتطلب حسابات مليئة بالتحديات. وكان هذا البرنامج في حاجة إلى عالم نظريات شاب ذكي وسريع. وقيل لي إنني لو عملت في برنامجه، سوف يعطيني الوظيفة هدية. تلك كانت أبسط وأقدم تجارة في العالم: يتم إعطاء العامل فرصة البقاء مقابل عمله.

هناك طرق كثيرة يتم عرض المقايضة بها، مع مكافأة من يتقبلون ومن يتمردون – هؤلاء الذين يفضلون أفكارهم الخاصة على أفكار من هم أكبر سنًا – لهم المعاقبة. كان صديقي كارلو روفيلي يرغب في عمل في روما. طُلب منه أن يقابل بروفيسورًا محددًا، الذي كان ودودًا جدًا وشرح لكارلو كل ما يخص برنامج الأبحاث المثير الذي يتابعه هو وجماعته. شكره كارلو للحوار المتبصر ورد على البروفيسور بوصف برنامج أبحاثه الخاص.

انتهى اللقاء بعد ذلك بقليل، ولم يحصل كارلو أبدًا على عرض الوظيفة المتوقع. كان عليّ أن أفسر له ما حدث. كان، كما كنا جميعًا في وقت ما، لا يزال بما يكفي من السذاجة بحيث يظن أنه تتم مكافأة الناس لأن لديهم أفكارا جيدة تخصهم.

في الواقع، ما احتاجه كارلو للحصول على عرض عمل من جامعة روما، كان أن يصبح عالم أوروبا الرائد في مجاله. فقط عندئذ – بمجرد أن أصبح لديه وظيفة ذات نفوذ في مكان آخر، وفقط بعد أن بدأ مئات الأشخاص حول العالم يعملون على أفكاره – توافرت الرغبة لدى البروفيسورات القادة في روما للاستماع إلى أفكاره التي حاول – كحاصل جديد على دكتوراه الفلسفة، أن يقدمها إليهم.

قد تندهش من كيفية حصول كارلو على وظيفة من الأساس. سوف أخبرك. في ذلك الوقت، في أواخر الثمانينيات، كان يهيمن على مجال النسبية العامة قلة من الأشخاص الأكبر سنًا الذين كانوا طلاب أينشتاين، وتمسكوا بشدة بوجهة النظر القائلة بأن الشباب ذا الأفكار الأفضل والأكثر استقلالية يجب تشجيعهم. وقادوا ما أُطلق عليه عندئذ جماعة النسبية، التي كان ضمنها جماعات أبحاث في نحو عشر جامعات في الولايات المتحدة. كمجال كان من الصعب الهيمنة عليه، لكنهم سيطروا على عدد صغير من المراكز، ربما مركز في جامعة جديدة واحدة كل عامين أو ثلاثة أعوام. كان كارلو أكاديميا في روما، لكن بسبب بعض المشاكل البيروقراطية، لم يتم جعل عمله رسميًا أبدًا ولم تتم مكافأته أبدًا. كان يُقال له كل شهر إنه بعد مقابلة واحدة أخرى أو

جزء صغير واحد آخر من العمل المكتبي، سوف يحصل على شيك. بعد عام ونصف من هذا، اتصل بأصدقائه في الولايات المتحدة وقال إنه رغم عدم رغبته في مغادرة إيطاليا، فإنه قد طفح معه الكيل. هل كانت هناك أية وظائف متاحة في الولايات المتحدة؟ كما حدث، كان أحد مراكز النسبية يبحث عن مساعد بروفيسور، وعندما سمعوا أنه قد يتقدم بطلب وظيفة، أتوا به جوًا وتعجلوا التعيين خلال أسابيع. من الجدير الإشارة إلى أن أحدًا في هذا المركز لم يكن يعمل على الجاذبية الكمية – ولقد وظفوا كارلو لأنه كان قد أثبت أن لديه أفكارا أصيلة ومهمة في المجال.

هل يمكن أن يحدث هذا حاليًا؟ ليس من المرجح أن يحدث، لأن الآن حتى مجال الجاذبية يهيمن عليه برنامج بحث ضخم له أجندة مميزة وضعها العلماء الأكبر سنًا. هذا له علاقة بعلم الفلك التجريبي للموجة الجذبوية وبالأمل (وهو لا يزال أملاً بعد عدة سنوات) في إجراء حسابات حاسب للتنبؤ بما سوف تشهده هذه التجارب. في تلك الأيام، لم يكن من المرجح لاختصاصي شاب في النسبية العامة أو الجاذبية الكمية الذي لا يعمل أساسًا على هذه المسائل، أن يحصل على وظيفة في أي مكان في الولايات المتحدة.

أيًا كان المجال، كان طعم النجاح هو غالبًا كل ما هو مطلوب لتحويل من كانوا متمردين سابقًا إلى حراس محافظين على برامج أبحاثهم. أكثر من مرة تم تقديمي لوقت قصير بواسطة أشخاص في مجالي الخاص للجاذبية الكمية، لدعم توظيف شخص ما من خارج المجال يعرض أفكارًا جديدة في مواجهة توظيف مرشح تقني مثير للإعجاب يعمل في قضايا ضيقة أحدثت تقدمًا في الأبحاث الموجودة.

هنا توجد بالفعل قضيتان، ومن المهم الفصل بينهما. إحداهما هي اتخاذ القرار بواسطة العلماء الأكبر سنًا، الذين يستخدمون سلطتهم مرارًا لدعم برامج الأبحاث التي ابتكروها عندما كانوا شبابًا مبدعين. الثانية هي نوع العالم الذي تهتم به الجامعات وتستطيع توظيفه. هل توظف أشخاصًا ينجزون عملاً يفهمه ويستطيع الحكم عليه أي شخص في مجال خاص؟ أو أنهم يرغبون في توظيف أشخاص يبتكرون اتجاهاتهم الخاصة، ومن المرجح أن يكون من الصعب التحكم فيهم؟

يرتبط ذلك بقضية المخاطرة. يميل العلماء المؤهلون إلى استنباط نوعين من الاستجابات من الأحكام. عادة، يستنبط العلماء أصحاب المخاطرة المنخفضة استجابات متسقة بشكل عام، ويشعر الجميع بنفس الشيء تجاهها. ويميل علماء المخاطرة المرتفعة والمتبصرون إلى حث ردود فعل مستقطبة بشدة. وهناك بعض الأشخاص الذين يؤمنون بها بعمق ويُظهرونها بقوة. وآخرون انتقاديون إلى حد كبير.

نفس الشيء يحدث عندما يقيّم الطلاب معلميهم. هناك نوع محدد من المعلمين المؤهلين لا يشعر الطلاب تجاههم بالحياد. البعض يحبهم، وسيقول، "هذا أفضل معلم كان لي في أي وقت، وهذا سبب ذهابي إلى الكلية". لكن آخرين غاضبين وممتعضين ولا يحجمون عن أي شيء في استمارة التقييم. لو أنك أخذت متوسط العلامات – بإقلال بيانات عدد واحد، كما يتم فعله في الغالب عند تقرير قيمة زيادات أجر البروفيسورات وفرص التثبيت – ستفقد هذه الحقيقة المهمة.

عبر السنوات، لاحظت أن التوزيع المستقطب للاستجابات يكون تنبؤًا قويًا بالنجاح والتأثير في المستقبل للعالِم. لو أن بعض الأشخاص يرون أن X هو مستقبل العلم ويرى آخرون أن X كارثة، قد يعني هذا أن X هو الأمر الحقيقي، شخص يدفع أفكاره الخاصة بشكل عدواني ولديه المواهب والمثابرة لإحداث تراكم فيها. البيئة التي تحتضن المراهنون على المخاطرة سوف ترحب بمثل هؤلاء الأشخاص، لكن البيئة الكارهة للمخاطرة سوف تتجنبهم.

في حدود اهتمام جامعات الأبحاث الأمريكية، الحقيقة الأساسية هي أن الأشخاص الذين لديهم مجموعة مستقطبة من التزكيات على فترات قصيرة لا يتم توظيفهم. ورغم أنني لاحظت هذا فقط في مجالي، قد يكون صحيحا بشكل عام. انظر للعلماء الآتي ذكرهم، وكلهم ينالون الإعجاب على نطاق واسع نظرًا لشجاعتهم وأصالة مساهماتهم في فهمنا للتطور: بير باك Per Back، وستيوارت كوفمان، ولين مارجاليس Lynn Margulis، ومايا بازاسكي Maya Paczuski، وروبرت تريفيرس Robert Trivers. اثنان منهم علماء فيزياء درسوا نماذج رياضية للانتقاء الطبيعي، والآخرون علماء نظريات رواد تطوريون. وليس بينهم من صنع سيرته المهنية في أهم جامعات النخبة. عندما كنت أصغر سنًا، اعتدت الدهشة من سبب ذلك. بعد فترة، أدركت أنهم كانوا مستقلين فكريًا. سيرتهم كانت ذات منوالين: لو أن كثيرين يحترمونهم، كان هناك أيضًا أكاديميون ذوو مكانة قوية شكاكين تجاههم. وبالفعل، في الغالب تكون تلك هي حالة أن أنواعًا من الأشخاص الذين يبتكرون الأفكار يكونون بلا عيوب عندما يتم قياسهم على معيار يستخدمه العلماء العاديون للحكم على التفوق. يمكنهم أن يكونوا شجعانًا جدًا.

يمكنهم أن يكونوا مهملين تجاه التفاصيل وغير عاطفيين تقنيا. تنطبق هذه الانتقادات على المفكرين المبتكرين الذين قادهم حب الاستطلاع والاستقلال إلى مجالات لم يكونوا متدربين عليها. لا يهم إلى أي مدى كانت تبصراتهم مبتكرة ومفيدة، لن يثير عملهم تقنيًا عاطفة الاختصاصيين في هذا المجال.

من الصحيح أيضًا أن بعضا من هؤلاء العلماء المبدعين والمبتكرين ليس من السهل الانسجام معهم. قد يكونون ضجرين. إنهم يعبرون عن أنفسهم بشكل مباشر جدًا عندما لا يتفقون معك، وينقصهم أساليب التصرف الجيد التي تأتي بسهولة إلى هؤلاء الذين يعتبرون التلاؤم أكثر أهمية من أن تكون على حق. بعد معرفتي بالعديد من مثل هؤلاء الأشخاص الذين "يصعب إقناعهم"، أشك في أنهم غاضبون لنفس سبب غضب النساء بالغي الذكاء في العلم أحيانًا: لقد عانين مدى العمر من جعلهن يشعرن بأنهن على الهامش.

من المؤكد أن هذا النوع من المشاكل أثر على السيرة المهنية لبير باك، الذي، بشكل مأساوي، توفي بالسرطان منذ عدة سنوات، في سن الرابعة والخمسين. كان لديه شيء ثمين نادر حيث كتب أبحاث في عدة مجالات خارج تخصصه، من الاقتصاد إلى علم الكون والبيولوجيا. كان ذلك ليصنع له صفة مميزة مثيرة للإعجاب، مطلوبة لأفضل الجامعات، لكن ما حدث كان هو العكس، لأنه لم يجفل من الإشارة إلى أن طريقته في مقاربة أي مشكلة يقوده إلى تبصرات يفتقد إليها الخبراء. كان سيحصل على سيرة مهنية أفضل لو أنه طبق قدرته الإبداعية في مجال واحد فقط، لكنه عندئذ ما كان سيصبح بير باك.

قد تندهش من سبب أن كل الأشخاص الأذكياء الذين أصبحوا رؤساء أقسام وعمداء لم يكتشفوا كل ذلك ولم يستخدموا هذه المعرفة لصالح جامعتهم. بالطبع، قلة فعلت ذلك، وسوف توظف هذه القلة مثل هؤلاء الأشخاص. معظم الوظائف التي انتشرت في العقد الماضي في مقاربات غير الأوتار حتى الجاذبية الكمية في الولايات المتحدة ظهرت لأن الذي يشغل كرسيا في جامعة ما كانت لديه فرصة نادرة للتوظيف في مجال غير ممثل في جامعته. ومتحررًا من سياسات قسمه العادية، أجرى حساب التكلفة والفائدة أقنعه بأنه بتوظيف في مجال ينقصه الدعم يمكنه الحصول فورًا على جماعة ذات مرتبة عالية يمكنها الرفع من مكانة قسمه.

بالفعل، تؤثر المشاكل التي نتحدث عنها على كل العلم، وقلة من العلماء الأكبر سنًا المؤثرين في المجالات الأخرى عبروا عن قلقهم. بروس ألبرتس Bruce Alberts عالم بيولوجيا ورئيس سابق للأكاديمية القومية للعلم، وهي المؤسسة الأكثر مهابة وتأثيرًا للعلماء في الولايات المتحدة. في خطابه الرئاسي للأكاديمية القومية في إبريل ٢٠٠٣، قال:

لقد طورنا نظامًا حافزًا للعلماء الشباب بعيدا عن المغامرة إلى حد كبير. بطرق متعددة، نحن أسوء أعداء لأنفسنا. أقسام الدراسة التي أسسناها لمراجعة طلبات تمويلات المنح تتكون من أنداد يزعمون أنهم يحترمون قرارات المخاطرة العلمية، لكنهم يستثمرون بشكل عام في العلم الآمن عندما يخصصون الموارد. والتأثير المثبط للابتكار هائل، لأن جامعات الأبحاث لدينا تبحث عن مساعد بروفيسور يمكنه ضمان تمويل منحة عندما يختارون

تعيينات الكلية الجديدة. يساعد ذلك في تفسير سبب أن الكثير جدًا من أفضل أشخاصنا الشباب ينجزون علم "أنا أيضًا".

استمر في وصف نزعة يحدث خلالها، عبر عشر سنوات تبدأ من ١٩٩١، أن جزءًا من تمويل المعاهد القومية للصحة الذي يذهب إلى باحثين تحت الخامسة والثلاثين من العمر ينزل أكثر من النصف، بينما هذا الذي يذهب إلى من هم أكبر من الخامسة والخمسين يزداد بأكثر من ٥٠ في المائة. ويرثي للنتيجة، لأنها تخفض إلى حد كبير من الاستقلال العقلي للباحثين الأصغر سنًا:

الكثير من زملائي وأنا تم منحنا أول تمويل مستقل عندما كنا تحت الثلاثين عامًا من العمر. لم يكن لدي نتائج تمهيدية، لأننا كنا نجرب شيئًا جديدا تمامًا. [والآن] تقريبًا لا أحد يجد من الممكن البدء في سيرة مهنية علمية مستقلة تحت عمر ثلاثين عامًا. ويضاف إلى ذلك، بينما في ١٩٩١ كان ثلث الباحثين الرئيسيين الذين لديهم تمويلات مؤسسات الصحة الوطنية تحت الأربعين، فإنه في ٢٠٠٢ هبط هذا الجزء إلى السدس. حتى أكثر الموهوبين من بين شبابنا بدا أنهم مرغمون على الصمود عدة سنوات من رفض طلبات المنحة قبل أن يكتسبوا في النهاية ما يكفي من "البيانات التمهيدية" التي تضمن للمراجعين أنه من المرجح أن ينجزوا أهدافهم المعلن عنها.

لماذا لو كانت المشكلة بكل هذا الوضوح بحيث إنها تقلق أغلب القادة البارزين للعلم الأمريكي، لا يتم فعل أي شيء تجاهها؟ حيرني ذلك لوقت طويل. والآن أدرك أن التنافس على الحصول على المراكز الأكاديمية والمحافظة عليها هو أكثر من استحقاق. يحاول النظام اختيار الأشخاص الأفضل والأكثر خصوبة، ويفعل ذلك إلى حد ما. لكن هناك أجندات أخرى، وقد يكون من السذاجة تجاهلها. والمهم أيضًا، أن هذه القرارات تكون حول تأسيس وتعزيز إجماع داخل كل مجال.

التوظيف ليس هو الوسيلة الوحيدة لتحقيق هذا الإجماع. كل ما قلته حول التوظيف صحيح أيضًا بالنسبة للهيئات التي تقوم بتقييم طلبات المنحة. وهو صحيح أيضًا بالنسبة لتقييمات التثبيت. هذه الأمور مرتبطة، لأنك لا يمكنك الحصول على تثبيت في العلم في جامعة أبحاث أمريكية إن لم تكن قد نجحت في الحصول على منح، ولا يمكن توظيفك إلا إذا كان هناك احتمال أنك ستحصل على منح.

كما حدث، قبل أشهر قليلة من اكتشافي لذلك لأول مرة طُلب مني أن أكتب نموذجا في موضوع آخر لمجلة "كرونكل أوف هاير إديوكيشن"، وهي مجلة تجارة لمدراء الجامعة. كتبت إلى المحررين واقترحت بدلاً عن ذلك نموذجا حول تهديدات الحرية الأكاديمية الآتية من هيمنة برامج الأبحاث الرائجة. كانوا راغبين في رؤيته، لكنهم رفضوه بمجرد قراءتهم لمسودتي. شعرت بالإهانة: كانوا يقمعون ما يعارضهم في الرأي! لذلك كتبت إليهم بريدًا إلكترونيًا غير عادي (بالنسبة لي) أسألهم عن قرارهم. ردوا فورًا،

يخبرونني بأن المشكلة لم تكن أن النموذج خارج عن المألوف - بالعكس تمامًا. كل ما فيه كان معروفًا جيدًا وتمت إذاعته بدقة، في العلوم الاجتماعية والعلوم الإنسانية. وأرسلوا لي كومة من المقالات قاموا بنشرها في السنوات الماضية حول علاقات السلطة في اتخاذ القرار الأكاديمي. قرأتها وأدركت بسرعة أن العلماء هم وحدهم الذين يبدون أنهم يجهلون هذه القضايا.

من الواضح، أن هناك أسبابا جيدة للحصول على التثبيت. إلى مدى محدود، فإنها تحمي العلماء المبتكرين والمستقلين من الفصل ومن استبدالهم بشباب يسعون إلى أعلى المراتب ويتبعون آخر بدعة عقلية. لكننا ندفع ثمناً باهظًا لنظام التثبيت: الكثير جدًا من أمن العمل، الكثير جدًا من السلطة، والقليل جدًا من المسؤولية للأشخاص الأكبر سنًا. والمطلوب هو القليل جدًا من أمن العمل، والقليل جدًا من السلطة، والكثير جدًا من المسؤولية للأشخاص الأصغر سنًا في أول سنواتهم الإبداعية والتي تميل للمخاطرة.

رغم أن التثبيت يحمي الأشخاص المستقلين فكريًا، فإنه لا ينتجهم. لقد سمعت الكثير من الزملاء وهم يقولون إنهم يعملون على ما هو على آخر طراز حتى يحصلوا على التثبيت، وبعده سيعملون ما يرغبون فيه حقًا. لكن لا يبدو أبدأ أن الأمر يسير على هذا المنوال. أعرف حالة واحدة فقط حدث فيها ذلك. وفي الحالات الأخرى، يبدو أنه لو لم تكن لدى هؤلاء الناس الشجاعة والاستقلال الكافيين للعمل على ما رغبوا فيه عندما كانوا قلقين تجاه التثبيت، لن يكتسبوا الشجاعة والاستقلال فجأة عندما يتمعنون في ما تقرره الهيئة وهي تفحص منحتهم. لن يفيد أن يكون هناك نظام يحمي الاستقلال

الفكري للبروفيسورات المثبتين لو أن نفس النظام يجعل من غير المرجح أن الأشخاص بهذا الاستقلال لن يحصلوا على التثبيت أبدًا.

بالفعل، البروفيسورات مع التثبيت الذين يفقدون تمويل منحتهم بسبب انتقالهم إلى نطاق أكثر مخاطرة قد يجدون أنفسهم بسرعة في شدة. لا يمكن فصلهم، لكن يمكن الضغط عليهم بتهديدات المدرسين المهمين وتخفيضات في الأجر إما بالعودة إلى عملهم منخفض المخاطرة جيد التمويل أو بالتقاعد المبكر.

وفي ما يلي ما قاله إزادور سنجر Isador Singer، بروفيسور الرياضيات الموهوب في معهد مساشوسيتس للتنقية، حديثًا عن حالة فرعه العلمي:

ألاحظ نزعة نحو التخصص المبكر مدفوعة بالاعتبارات الاقتصادية. عليك أن تبدي بشكل مبكر وعدًا بالحصول على خطابات تزكية ملائمة لتحصل على أول وظائف جيدة. لا يمكنك توفير التوسع حتى تكون قد ثبتت نفسك وحصلت على مركز آمن. ترغمك حقائق الحياة على تضييق في وجهة النظر غير المتأصلة في الرياضيات. يمكننا الرد على التخصص الكثير جدًا بموارد جديدة تعطي الشباب حرية أكثر مما لديهم حاليًا، حرية استكشاف الرياضيات بشكل أكثر كمالاً، أو استكشاف الروابط بالموضوعات الأخرى، مثل البيولوجيا في هذه الأيام حيث هناك الكثير لاكتشافه.

عندما كنت شابًا كان سوق العمل جيدًا. كان من المهم أن تكون في جامعة رئيسية لكن يمكنك أن تظل مزدهرًا في جامعة أصغر. أنا منزعج

بسبب التأثير القهري لسوق العمل الراهن. يجب أن يحصل شباب علماء الرياضيات على حرية الاختيار التي كانت لدينا عندما كنا شبابًا(٥).

لدى عالم الرياضيات الفرنسي ألين كونيس انتقادات مماثلة:

الضغط المستمر [في النظام الأمريكي] للإنتاج يقلل من "وحدة الوقت" لدى معظم الشباب هناك. يكون للمبتدئين فرصة أقل لكن للحصول على استشاري [يكون] مغروسًا بشكل جيد من الناحية الاجتماعية (بحيث يستطيع في مرحلة لاحقة أن يكتب خطابات تزكية متعلقة بالموضوع والحصول على مركز للطالب) ثم يكتب بحثًا تقنيًا يوضح أن لديهم قوة ملائمة، وكل ذلك في كمية محدودة من الوقت مما يمنعهم من مادة التعليم التي تتطلب عدة سنوات من العمل الشاق. بالطبع، نحتاج بشدة إلى الفنيين، لكنه جزء فقط مما يولد تقدمًا في البحث... من وجهة نظري فإن النظام الحالي في الولايات المتحدة لا يشجع بالفعل الأشخاص الذين يعتبرون مفكرين مبتكرين حقًا، مما يجاري عملية النضج البطيئة على المستوى التقني. وأيضًا الطريقة التي يحصل الشباب من خلالها على مركز في السوق تخلق "إقطاعيات"، أي إن قلة من المجالات سوف تُغرس في الجامعات المهمة التي تعيد إنتاج نفسها مع عدم ترك أية فرصة للمجالات الجديدة... النتيجة هي أن هناك القليل جدًا من الموضوعات التي يتم التأكيد عليها مع ترك الطلاب المنتجين، وبالطبع هؤلاء الذين لا يخلقون شروطًا صحيحة لظهور مجالات جديدة(٦).

في العقود الحديثة، تعلم عالم الأعمال أن التراتبية تكلفتها باهظة وانتقل إلى إعطاء الشباب المزيد من السلطة وفرص العمل. هناك الآن مصرفيون، ومهندسو برمجيات شباب، وأمثالهم لايزالون في أواخر العشرينيات من العمر يترأسون مشروعات كبيرة. بين الفينة والفينة، سوف تقابل عالما أكاديميا محظوظا في نفس الموقف، لكنه نادر. الكثير من العلماء يناهزون الخامسة والثلاثين قبل أن يظهروا من المرحلة الأولى الحتمية لمركز ما بعد شهادة الدكتوراه.

يعرف قادة شركات التقنية العالية أنك إذا كنت ترغب في توظيف أفضل المهندسين الشباب، تحتاج إلى مديرين شباب. ونفس الشيء صحيح بالنسبة للمجالات الإبداعية الأخرى، مثل أعمال الموسيقى. أنا متأكد من أن بعض موسيقيي الجاز ورجال الروك آند رول الكبار يعرفون قيمة الهيب هوب hiphop والتكنو techno، لكن صناعة الموسيقى لا تدع نجم سابق في الستين من العمر يختار الموسيقي الشاب الذي يحصل على توقيع لعقود تسجيل. الإبداع في الموسيقى ينبع عند مثل هذا السباق المحموم والمفعم بالحيوية لأن الموسيقيين الشباب يمكنهم العثور على طرق اتصال بالمستمعين والموسيقيين الآخرين بسرعة، في النوادي والمذياع، بدون أن يكون عليهم طلب الإذن من فنانين مهمين بأجنداتهم الخاصة.

من المثير للاهتمام ملاحظة أن ثورة ميكانيكا الكم تم إنجازها بجيل من العلماء يُفترض أنه يتيم. الكثير من أعضاء الجيل الأكبر منهم كان قد ذُبح في الحرب العالمية الأولى. لم يكن هناك ببساطة الكثير من العلماء الأكبر

سنًا حولهم ليخبروهم بأنهم كانوا مجانين. والآن، لكي يبقى طلاب الدراسات العليا والأكاديميين، عليهم إنجاز أشياء يمكن أن يفهمها أشخاص اقتربوا من التقاعد. إنجاز العلم بهذه الطريقة مثل القيادة وكوابح الطوارئ تعمل.

يتطلب العلم توازنًا بين التمرد والاحترام، لذلك سيكون هناك باستمرار مجادلات بين الخارجين عن المألوف والمحافظين. لكن ليس هناك توازن في العالم الأكاديمي الراهن. وأكثر من أي وقت في تاريخ العلم، تتجمع الظروف ضد الثوري فيفشل. مثل هؤلاء الأشخاص لا يتم التسامح معهم ببساطة في جامعات الأبحاث. من ثم، قليلة هي الدهشة من أنه حتى عندما يستدعي العلم بوضوح شخصًا ما، لا يبدو أننا ننجز ثورة رغم الصعوبات.

٢٠

ما يمكننا فعله للعلم

حاولت في هذا الكتاب أن أفسر سبب أن قائمة المشاكل الخمس الكبيرة في الفيزياء هي نفسها كما كانت منذ ثلاثين عامًا. لحكاية هذه القصة، كان عليّ أن أركز على نظرية الأوتار، لكنني أرغب في أن أكرر كثيرًا ولو بشكل مضجر أن هدفي ليس أن أعتبرها شرًا. نظرية الأوتار فكرة قوية جيدة التحفيز وتستحق الكثير من العمل الذي تم تكريسه لها. لو أنها فشلت حتى الآن، فإن السبب الرئيسي هو أن الأخطاء المتأصلة مرتبطة عن قرب بقوتها- وبالطبع، القصة لم تنته بعد، حيث إن نظرية الأوتار قد يتضح أنها جزء من الحقيقة. السؤال الحقيقي ليس سبب أننا قد أنفقنا الكثير جدًا من الطاقة على نظرية الأوتار، لكن هو سبب أننا لم ننفق ما يكفي تقريبًا من الجهد على مقاربات بديلة.

عندما واجهت اختيار العمل على أسس ميكانيكا الكم وتدمير مهنتي أو العمل على موضوع يرتبط بفيزياء الجسيمات بحيث أحصل على الموضوع، كان هناك جدل علمي يسند هذا القرار الاقتصادي. كان من الواضح أنه في العقود السابقة تم إنجاز الكثير جدًا من التقدم في فيزياء الجسيمات أكثر منه

في فحص أسس نظرية الكم. طالب الدراسات العليا اليوم في موقف مختلف جدًا. لقد انقلبت الأمور بالكامل. ولقد شهدت العقود الماضية تقدمًا ضئيلاً في نظرية الجسيمات لكنها شهدت الكثير في مجال الأسس، التي حثها العمل في الحوسبة الكمية.

أصبح من الواضح الآن أننا لا يمكننا حل المشاكل الخمس الكبيرة إلا إذا فكرنا بجهد في أسس فهمنا للمكان، والزمن، والكم. ولا يمكننا أيضًا النجاح لو عالجنا برامج أبحاث عمرها عقود، مثل نظرية الأوتار والجاذبية الكمية للأنشوطة، كما لو أنها نماذج إرشادية راسخة. نحتاج إلى علماء شباب لديهم الشجاعة، والخيار والعمق الفكري لصياغة اتجاهات جديدة. كيف نتعرف على وندعم مثل هؤلاء الأشخاص، بدلاً من إحباطهم، كما نفعل الآن؟

يجب أن أؤكد من جديد على أنني لا أعتقد أن أي عالم فيزياء فرد يجب لومه على الركود الذي لحق بالفيزياء النظرية. الكثير من علماء نظرية الأوتار الذين أعرفهم هم علماء بالغو المهارة. لقد أنجزوا عملاً بالغ الجودة. لا أرى أنه كان عليهم أن يفعلوا ما هو أفضل، فقط الجدير بالملاحظة هو أن عددًا كبيرًا من أفضل ما بيننا لم يستطيعوا النجاح، علمًا بأن الأمر بدا في البداية كما لو كان فكرة جيدة.

الذي نتعامل معه هو ظاهرة اجتماعية في عالم العلم الأكاديمي. أظن أن أخلاق العلم قد تم إفسادها بدرجة ما بواسطة نوع من التفكير الجماعي تم استكشافه في الفصل ١٦، وليس فقط بجماعة نظرية الأوتار وحدها. من جهة أولى، إنها الإرادة الملكية العليا للجماعة الأكاديمية هي التي تضع القواعد.

في المحكمة القانونية، سوف يفعل المحامي الماهر أي شيء في القانون ليعرض قضية موكله. وعلينا أن نتوقع أن القادة في المجال العلمي سيفعلون بالمثل أي شيء في القواعد غير المكتوبة للمجتمع الأكاديمي لعرض برامج أبحاثهم. لو أن النتيجة هي الاستيلاء قبل الأوان من قبل مجموعة من الأفكار التي يُروج لها بشكل عدواني والتي حققت هيمنتها بأن وعدت بأكثر مما تقدمه، لا يمكن أن نضع اللوم فقط على قادتها، الذين ينجزون ببساطة أعمالاً تقوم على فهمهم لكيفية إنجاز العلم. يمكن ويجب وضع اللوم علينا جميعًا نحن العلماء الأكاديميين، الذين يضعون بشكل جماعي القواعد ويقومون بتقييم المزاعم التي يقدمها زملاؤنا.

ربما يكون من المبالغة مسائلتنا جميعًا في مجال يتم فيه فحص كل نتيجة قبل قبولها كحقيقة راسخة. نحن نستطيع وتركنا هذا لخبراء في المجالات الفرعية. لكنها مسؤوليتنا أن نتتبع على الأقل المزاعم والأدلة. مثلي مثل أي من زملائي، وقعت في خطأ قبول معتقدات يتم التمسك بها على نطاق واسع حول نظرية الأوتار رغم أنها لا تلقى أي دعم في الأدب العلمي.

السؤال الصحيح الذي يجب طرحه، من ثم، هو: ما الذي حدث للقيود التقليدية للأخلاق العلمية؟ كما رأينا، هناك مشكلة في بنية العلم الأكاديمي، كما تظهر في ممارسات مثل مراجعة الند ونظام التثبيت. وهذا مسئول جزئيًا عن هيمنة نظرية الأوتار، لكن الخطأ أيضًا هو الخلط بين العلم العادي والعلم الثوري. بدأت نظرية الأوتار كمحاولة لإنجاز علم ثوري، ورغم ذلك تم معاملاتها كما لو كانت برنامج بحث آخر في العلم العادي.

لو عدنا إلى بضعة فصول، اقترحت أن هناك نوعين من علماء الفيزياء النظرية، الحرفيون مرتفعو التدريب الذين يغذون العلم العادي، والملهمون، المتبصرون، الذين يمكنهم الرؤية خلال الافتراضات التي لا مبرر لها لكنها تلقى قبولاً بصورة عامة ويطرحون أسئلة جديدة. يجب أن يكون من الواضح الآن بوفرة أنه لإنجاز ثورة في العلم، نحتاج إلى المزيد من النوع الثاني. لكن، كما رأينا، لقد تم تهميش هؤلاء الأشخاص إن لم يكن قد تم إبعادهم تمامًا من المجتمع الأكاديمي، ولم يعودوا يعتبرون، كما كانوا ذات مرة، جزءًا من الاتجاه السائد في الفيزياء النظرية. لو أن جيلنا من علماء النظرية فشل في إنجاز ثورة، فإن سبب ذلك أننا أسسنا مجتمعًا أكاديميًا بطريقة جعلت لدينا قلة من الثوريين، ولم ينصت أغلبنا إلى القلة التي لدينا.

لقد انتهيت إلى أنه يجب علينا إنجاز الأمرين. علينا التأسيس ومحاربة أعراض التناغم الجماعي، وعلينا فتح الأبواب إلى نطاق واسع من المفكرين المستقلين، لضمان تقديم مكان للشخصيات المتميزة الذين نحتاج إليهم لإنجاز ثورة. يبقى الكثير حول كيفية معالجتنا للجيل التالي. للمحافظة على العلم سليمًا، يجب توظيف العلماء الشباب وتدعيمهم بناء فقط على قدرتهم، وإبداعهم، واستقلالهم، دون النظر إلى ما إذا كانوا يساهمون في نظرية الأوتار أو أي برنامج بحث آخر راسخ. الأشخاص الذين ابتكروا وطوروا برامج أبحاثهم الخاصة يجب فوق ذلك إعطاؤهم أولوية، بحيث تتوفر لديهم الحرية الفكرية للعمل على مقاربة يرون أنها الواعدة أكثر من غيرها. السيطرة على العلم هي دائمًا أمر يتعلق بالخيارات. لمنع المغالاة في

الاستثمار في اتجاهات تنطوي على المجازفة التي قد يتضح أنها طرق مغلقة، على أقسام الفيزياء ضمان أن برامج الأبحاث المتنافسة ووجهات النظر المختلفة تجاه المشاكل التي لم تحل ممثلة في كلياتها - ليس فقط لأننا في أغلب الوقت لا يمكننا التنبؤ بأي وجهات نظر سوف تكون الصحيحة ولكن لأن التنافس الودود بين أشخاص أذكياء يعملون بالقرب من بعضهم يكون غالبًا مصدر أفكار واتجاهات جديدة.

يجب تشجيع موقف نقدي وغير متحيز صراحة. ويجب أن يعاقب الناس عندما ينجزون عملاً تافهًا يتجاهل المشاكل الصعبة ومكافأتهم لانتقادهم اللاذع للتخمينات المفتوحة طويلة الأمد، حتى لو اقتضى التقدم الكثير من السنوات. يجب إتاحة المزيد من الفرص للأشخاص الذين يفكرون بعمق وبتأن في القضايا الأساسية التي تطرحها محاولات توحيد فهمنا للمكان والزمن ونظرية الكم.

الكثير من المشاكل الاجتماعية التي ناقشناها لها علاقة بنزعة العلماء- بالفعل، كل الكائنات البشرية - لتكوين قبائل. للتصدي لهذه النزعة القبلية، يمكن لعلماء نظرية الأوتار أن يقللوا من أهمية الحدود بين نظرية الأوتار والمقاربات الأخرى. يمكنهم التوقف عن تصنيف علماء النظريات بما إذا كانوا أو لم يكونوا يُظهرون ولاء لهذا الحدس أو ذاك. الأشخاص الذين يعملون في بدائل لنظرية الأوتار، أو الذين ينتقدون نظرية الأوتار، يجب دعوتهم للحديث في مؤتمرات نظرية الأوتار، لصالح الجميع. ويجب أن تبحث جماعات الأبحاث على الأكاديميين، والطلاب، والزوار الذين يتابعون

المقاربات المتنافسة. يجب أيضًا تشجيع الطلاب على التعلم والعمل على مقاربات متنافسة لحل المشاكل، حتى يكونوا مزودين بالقدرة على أن يختاروا لأنفسهم الاتجاهات الواعدة أكثر من غيرها مع تقدمهم في المهنة.

ونحتاج نحن علماء الفيزياء إلى التصدي للأزمة التي تواجهنا. النظرية العلمية التي لا تقدم أية تنبؤات ومن ثم لا تكون موضوعًا لتجارب لا يمكن أن تفشل، لكن مثل هذه النظرية لا تستطيع أن تنجح أيضًا، مادام كان العلم بمثابة المعارف المكتسبة من الحجة العقلية ويثبت الدليل صحتها. هناك حاجة لأن تكون هذه المعارف تقييما صادقًا لحكمة الالتزام ببرنامج أبحاث فشل بعد عقود في العثور على تأسيس أي من النتائج التجريبية أو الصياغة الرياضية الدقيقة. يحتاج علماء نظرية الأوتار إلى مواجهة احتمال أنه قد يتضح أنهم كانوا مخطئين، والآخرون على حق.

أخيرًا، هناك الكثير من الخطوات يمكن للمؤسسات التي تدعم العلم أن تتخذها للمحافظة على العلم سليمًا. يجب على وكالات التمويل والمؤسسات أن تتيح للعملاء في كل مستوى استكشاف وتطوير المقترحات التي يمكن تطبيقها لحل المشاكل العميقة والصعبة. ولا يجب السماح لبرنامج أبحاث أن يصبح مهيمنا مؤسسيًا قبل أن يكون قد جمع برهانا علميًا مقنعًا. وحتى يفعل ذلك، يجب تشجيع المقاربات البديلة، بحيث لا يكون تقدم العلم متوقفًا بالإفراط في الاستثمار في الاتجاه الخاطئ. عندما تكون هناك مشكلة صعبة المراس لكنها مهمة، يجب أن يكون هناك حد لنسبة الدعم الذي يتم إعطاؤه لأي برنامج واحد يهدف لحلها – أي، ثلث التمويل الكلي.

يمثل بعض هذه الاقتراحات تحسينات أساسية. لكن عندما يتعلق الأمر بالفيزياء النظرية، لا يدور حديثنا حول الكثير من المال على أي حال. افترض أن وكالة ما أو مؤسسة قررت أن تدعم بشكل كامل كل المتبصرين الذين يتجاهلون الاتجاه السائد ويتبعون برامجهم الخاصة الطموحة لحل مشاكل الجاذبية الكمية ونظرية الكم. ربما نتحدث عن نحو عشرين من علماء النظريات. دعمهم بشكل كامل قد يأخذ جزءًا ضئيلاً من أي موازنة قومية للفيزياء. لكن قياسًا على ما ساهم به هؤلاء الأشخاص في الماضي، من المرجح أن العديد منهم سوف يفعل شيئًا مهمًا بما يكفي لجعل ذلك هو أفضل استثمار إجمالي في المجال.

بالفعل، حتى لو أن المؤسسات الصغيرة يمكنها المساعدة، بالبحث عن متبصرين مستقلي التفكير لديهم دكتوراه فلسفة في الفيزياء أو الرياضيات ويعملون على مقاربتهم الخاصة في مشكلة أساسية – أي الأشخاص الذين ينجزون شيئًا غير تقليدي إلى حد وجود احتمال كبير لأنهم لا يستطيعون أبدًا أن تكون لديهم مهنة أكاديمية. أشخاص مثل جوليان باربور، وأنطوني فالينتيني، وألكسندر جروثنديك Alexander Grothendieck _ أو أينشتاين، ينطبق عليهم ذلك. أعطهم فترة خمس سنوات من الدعم، يمكن مدها إلى خمس سنوات أخرى أو حتى خمس سنوات ثالثة لترى ما إذا كانوا سيحصلون على أي مكان على أي حال.

هل تبدو تلك مخاطرة؟ لدى الجمعية الملكية في المملكة المتحدة مثل هذا البرنامج. وكان مسئولاً عن بداية حيوية لحياة مهنية للعديد من العلماء

الذين أصبحوا الآن مهمين في مجالهم، والذين ربما لم يكن في استطاعتهم أبدًا الحصول على مثل هذا الدعم في الولايات المتحدة.

كيف تختار هؤلاء الأشخاص الذين يستحقون الدعم؟ الأمر بسيط. اسأل بعضا ممن ينجزون العلم بالفعل بهذه الطريقة. فقط لكي تتأكد، اعثر على الأقل على شخص واحد موهوب في مجال المرشحين للتوظيف مهتم بعمق بما يحاول المرشحون إنجازه. لكي تتأكد بالفعل، اعثر على الأقل على بروفيسور واحد يرى أن المرشح عالم سيئ ومقدر له الفشل.

قد يكون غريبًا مناقشة السياسة الأكاديمية في كتاب للجمهور العام، لكنك، الجمهور، فرديًا وجماعيًا، من يرعانا. لو أن العلم الذي تموله لن يتم إنجازه، فالأمر يعود إليك في أن تضغط علينا وتجعلنا نؤدي عملنا.

لذلك لديّ بعض كلمات نهائية للجمهور بمختلف أنواعه.

للأشخاص المتعلمين: كن ناقدًا. لا تصدق أغلب ما تسمعه. عندما يزعم عالم بأنه فعل شيئًا مهما، اطلب رؤية الدليل. قم بتقييمه بصرامة كما لو أنك مستثمر. إعط الأمر الكثير من التدقيق كما تفعل في حالة شراء بيت أو مدرسة سترسل إليها أطفالك.

إلى هؤلاء الذين يتخذون القرارات نحو ما يجب على العلم إنجازه – أي، لرؤساء الأقسام، ولجان الأبحاث، والعمداء، ومدراء المؤسسات، ووكالات التمويل: فقط الأشخاص في مستواك يمكنهم تطبيق التزكيات مثل تلك السابق ذكرها. لماذا لا توفرهم؟ تلك مقترحات يجب مناقشتها في أماكن

مثل مكاتب مؤسسة العلم القومية، وأكاديمية العلم القومية، وما يشبهها حول العالم. ليست هذه مجرد مشكلة في الفيزياء النظرية. لو أن موضوعا عالي الانضباط مثل الفيزياء يتعرض لأعراض التناغم الجماعي، ما الذي قد يحدث في المجالات الأخرى، المجالات الأقل دقة؟

إلى زملائي علماء الفيزياء النظرية: المشكلات التي تمت مناقشتها في هذا الكتاب مسئوليتنا جميعًا. نحن نشكل صفوة علمية فقط لأن المجتمع الأكبر الذين نحن جزء منه يهتم بشدة بالحقيقة. لو أن نظرية الأوتار خاطئة لكنها تستمر في الهيمنة على مجالنا، قد تكون العواقب قاسية - بالنسبة لنا شخصيًا وأيضًا بالنسبة لمهنتنا. الأمر يعود إلينا في فتح الأبواب والسماح بوجود البدائل، ورفع معايير الجدل بشكل عام.

لجعل الأمر أكثر فظاظة: لو أنك شخص أول رد فعل له عندما تلقى تحديًا في معتقدات العلمية هو "ماذا يرى X في ذلك؟" أو "كيف يمكنك قول هذا؟ كل شخص يعرف جيدًا أن..."، عندئذ تخاطر بألا تكون عالمًا بعد ذلك. أنت تحصل على ما يكفي من المال لتقوم بعملك، وهذا يعني أن لديك مسئولية لتقوم بتقييم متأنٍ ومستقل لكي شيء تؤمن به أنت وزملاؤك. لو أنك لم تستطع تقديم دفاع محدد عن معتقداتك والتزاماتك، يتسق مع الدليل، لو أنك تركت أشخاصًا آخرين يقومون بالتفكير لك (حتى لو كانوا أكبر سنًا وأكثر قوة)، فإنك عندئذ لا تعيش تبعًا لالتزاماتك الأخلاقية كعضو في الجماعة العلمية. درجة الدكتوراه الخاصة بك هي رخصة لك للتمسك بوجهات نظرك الخاصة وتقديم تقديراتك. لكنها أكثر من ذلك، إنها تجبرك على التفكير بشكل نقدي ومستقل في كل شيء في نطاق كفاءتك.

هذا أمر صارم. لكن في ما يلي كلمات حتى أكثر صرامة لأولئك من بيننا الذين يعملون على مشاكل أساسية وليسوا علماء نظرية أوتار. عملنا من المتوقع أن يكون العثور على الافتراضات الخاطئة، وطرح أسئلة جديدة، والوصول إلى إجابات جديدة، وقيادة الثوريين. من السهل معرفة أين من المحتمل أن تكون نظرية الأوتار خاطئة، لكن نقد نظرية الأوتار ليس عملاً. العمل هو ابتكار نظرية تكون صحيحة.

سأكون أكثر صرامة مع نفسي. أنا أتوقع تمامًا أن يرد عليّ بعض القراء بأن "لو أنك بكل هذا الذكاء، لماذا لم تفعل ما هو أفضل من علماء نظرية الأوتار؟". وهم على حق. لأن في النهاية، هذا الكتاب هو نوع من التأجيل. بالطبع، لديّ أمل بكتابته أن أجعل الطريق أكثر سهولة لهؤلاء الذين يأتون بعد ذلك. لكن مهنتي هي علم الفيزياء النظرية وعملي الحقيقي أن أنهي ثورة أينشتاين التي بدأت. ولم أنجز هذا العمل.

إذن ما الذي أنوي فعله أنا نفسي؟ أنوي محاولة استغلال الحظ الطيب الذي قدمته لي الحياة. للبدء به، سوف أستخرج بحثي القديم، "حول العلاقة بين التموجات الكمية والحرارية"، وأقرأه. عندئذ سوف أغلق الهاتف والبلاكبيري، وأقوم بتشغيل بعض أغاني بيبيل جيلبيرتو Bebel Gilberto، وإثيرو Esthero، ورون سيكسسميث Ron Sexsmith، وأقلب الكتاب، وأمحو السبورة، وأُحضر بعض الطباشير الجيد، وأفتح دفتر الملحوظات، وأحمل قلمي المفضل، وأجلس، وأبدأ في التفكير.

ملاحظات

مقدمة

١- Mark Wise, "Modifications to the Properties of the Higgs Boson," Seminar talk, Mar. 23, 2006. موجود على موقع http :// streamer. Perimeterinstitute. Ca: 81/ mediasite/.

٢- Brain Greene, The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality (New YOrk: Alfred A. Knopf, 2005), p. 376.

٣- Gerard`t Hooft, In Search of the Ultimate Building Blocks (Cambridge: Cambridge University Press, 1996), p. 163.

٤- مقتطفة من New Scientist, "Nobel Laureate Admits String Theory Is in Trouble," Dec. 10, 2005. وطرح ذلك نوعًا من التناقض، لذلك أوضح جروس ملاحظاته في 23rd Jursalem Winter School in Theoretical Physics، والنص بكاملة موجود في موقع www.As.Huji.Ac. il/schools/phys 23/ media. Shtml):

وما أعنيه بالفعل من ذلك أننا لا نزال لا نعرف الإجابة عن ماهية نظرية الأوتار وما إذا كانت النظرية النهائية أو أن هناك شيئًا ما مفقودًا فيها ويبدو أننا نواجه ضرورة إجراء تغيرات مفاهيمية عميقة.... خاصة ما يتعلق بطبيعة المكان والزمن. لكن، بعيدًا عن كونه جدلاً يدور حول واجب التوقف عن العمل على نظرية الأوتار– إنها فاشلة، لقد انتهى الأمر – كانت تلك فترة زمنية مدهشة.

٥- J. Polchinski في محاضرة أُلقيت في 26th SLAC Summer Institute on Particle Physics, 1998, hep-th/9812104.

٦- http : // motls . blogspot. Com/ 2005/ 09/ why-no- new – einstein- ii. Html.

٧- Lisa Randall, "Designing Words," in Intelligent Thought: Science Versus the Intelligent Design Movement, ed. John Brockman (New York: Vintage, 2006).

١ـ المشاكل الخمس الكبرى في الفيزياء النظرية

١. John Stachel, "How Did Einstein Discover Relativity?" http : // www. Aip. Org/history /Einstein/ essay-einstein-relativity. Htm. عليّ ملاحظة أن بعض فلاسفة العلم ينظرون إلى النسبية العامة باعتبارها على الأقل بشكل جزئي نظرية محافظة، ولأغراض هذه المناقشة فإنها نظرية مبدأ أساسي لأنها تصف كيف يتم وصف المكان، والزمن والحركة، أيًا كان ما يحتوي عليه الكون.

٢ـ أسطورة الجمال

١- على القارئ أن يلاحظ أنني وأنا أحكي هذه القصة أبسطها إلى حد كبير لجعلها مفهومة. كانت هناك تجارب أخرى مهمة، كانت تهتم بالضوء الذي يتحرك خلال ماء جار أو تأثير الحركة النسبية للأرض والنجم على أرصاد ضوء النجم. لم يكن أينشتاين هو الشخص الوحيد

الذي أدرك أن الإجابة الصحيحة تتضمن قبول مبدأ النسبية، وهذا ما فعله عالم الرياضيات الفرنسي العظيم وعالم الفيزياء هنري بوانكريه.

٣ـ العالم كهندسة

١- عليّ الاعتراف بأن نوردستروم لم يحل المسألة بهذه الطريقة. لكن لعله فعل ذلك. تلك كانت الطريقة التي تبناها الأنصار اللاحقون للبعد الإضافي وهي تحسين على ما فعله نوردستروم.

٢- هناك تنبيه، وهو أن ذلك ينطبق فقط على الأرصاد التي تتم في مناطق صغيرة من المكان عبر فترات زمنية قصيرة. لو أنك سقطت بما يكفي لرؤية أن قوة المجال الجاذبي تتغير، يمكنك التمييز بين الجاذبية والتسارع.

٣- قد يفضل خبير المفهوم الأكثر دقة عن القصور الذاتي هنا، لكنني أجد أن هذا يثير الارتباك لدى القراء غير المختصين.

٤- باستثناء بالطبع، في حالة المادة المظلمة والطاقة المظلمة، كما رأينا.

٥- مقتطف من Hubert F. M. Goenner, On the History of Unified Field Theories (1914-1933), p. 30. http : // relativity. Livingreviews. 0rg/Articles/ Irr-2004-2/index.html (2004).

٦- نفس المصدر pp. 38-39

٧- نفس المصدر p. 39

٨- نفس المصدر p. 35

٩- مقتطف من Abraham Pais, Subtle Is the Lord (New York: Oxford Univ. Press, 1982), p. 330.

١٠- نفس المصدر p. 332

١١- نفس المصدر.

١٢- نفس المصدر p. 334

٤ـ التوحيد يصبح علما

١- أولئك القراء الذين يهتمون بمعرفة المزيد يمكنهم القراءة حول تماثلات القياس في الفصل ٤ من كتابي في ١٩٩٧ "حياة الكون" The Life of the Cosmos (New York: Oxford University Press).

٢- رغم أننا لا نحتاج إليه، قد يرغب بعض القراء في معرفة المزيد حول كيفية عمل مبدأ القياس. وها هي فكرة أساسية: عادة يجب إجراء العمليات التي تحدد التماثل على مجمل المنظومة. لتوضيح أن شيئًا ما متماثلا تحت تأثير الدوران، عليك إدارة الشيء في مجمله في الوقت نفسه. لا يمكنك إدارة جزء فقط من كرة. لكن هناك حالات خاصة يمكن أن يعمل التماثل خلالها حتى لو طبقته على جزء من المنظومة. وتسمى هذه التماثلات تماثلات محلية. يبدو ذلك مضادا لما هو بديهي، فكيف يحدث؟ يتضح – وهذا هو الجزء الذي يصعب

شرحه بدون رياضيات – أنه يحدث إذا كانت الأجزاء المختلفة للمنظومة تؤثر على بعضها البعض بقوى محددة. تلك هي قوى القياس.

٣- من جديد، التاريخ أكثر تعقيدًا من الموجز الذي أقدمه. في البداية تم اكتشاف نظريات يانج- ميلز بالفعل في العشرينيات في سياق نظريات التوحيد بالأبعاد الأعلى لكن يبدو أنه تم نسيانها، مما أدى إلى إعادة اكتشافها بواسطة شين نينج يانج، وروبرت ميلز، وآخرين في الخمسينيات.

٤- الموضوع الرئيسي لـــ "حياة الكون" كان تضمينات هذا التغير.

٥ـ من التوحيد إلى التوحيد الفائق

١- Y. Nomura and B. Tweedie, hep-ph / 0504246.

٢- P. Frampton, e-mail (يتم استخدامه بإذن).

٦ـ الجاذبية الكمية: تفرع الطريق

١- Einstein, "Approximate Integration of the Field Equations of Gravitation," Sitzungsberichte der Preussische Akadamie der Wissenschaften (Berlin, 1916), pp. 688-96. وعن التاريخ المبكر للجاذبية الكمية انظر John Stachel, introduction and comments to Part Vm Conceptual Foundations of Quantum Field Theory,

ed. Tian Yu Cao (Combridge, U. K. : Cambridge University Press, 1999).

٢- W. Heisenberg and W. Pauli, "Zur Quantendynamik der Wellenfelder," Zeit. Fur Physik, 56: 1-16 (1929), p. 3.

٣- gravitational waves," – ٣M. P. Bronstein, "Quantization of

لمزيد من المعلومات حول Zh. Eksp. Teor. Fix. 6(1936). P. 195.

برونشتاين، انظر Stachel in Conceptual Foundations, and also G. Gorelic, :Marvei Bronstein and Quantum Gravity: 70th Anniversary of the Unsolved Problem," Physics-Uspekhi, 48: 10 (2005).

٤- Richard P. Feynman, What Do You Care What Other People Think? (New York: W. W. Norton, 1988), p. 91.

٥- في الحقيقة تلك خاصية عامة للمنظومات المرتبطة ببعضها بواسطة الجاذبية، مثل النجوم والمجرات. كلها مجموعات تبرد عندما تضاف إليها طاقة. هذا الاختلاف الأساسي بين المنظومات بجاذبية أو بدون جاذبية ثبت أنه حجر عثرة كبير بالنسبة للكثير من محاولات توحيد الفيزياء.

٧ـ الاستعداد لتطور ما

١- G. Veneziano, "Construction of a Crossing-Symmetric Regge-Behaved Amplitude for Linearly Rising Regge Trajectories," Nuovo Cim., A: 190-97 (1968).

٢- http : www. Edge. Org/3rd_culture/susskind03/Susskind_index.html.

٣- P. Ramond, "Dual theory for free fermions," phys. D, 3(10): 2415-18 (1971).

٤- البحث الآخر المؤثر بشكل خاص كان "Quantum Dynamics of a Massless Relativistic String," by P. Goddard, J. Goldstone, C. Rebbi, and C. Thorn, Nucl. Phys., 56" 109-35 (1973).

٥- J. Scherk and J. H. Schwarz, " Dual Models for Non-Hadrons," Nucl. Phys. B, 81(1): 118-44 (1974).

٦- T. Yoneya, "Connection of Dual Models to Electrodynamics and Gravidynamics,Prog. Theor. Phys., 51(6): 1907-20 (1974).

٨- ثورة الأوتار الفائقة الأولى

١- J. H. Schwrz في مقابلة مع سارة ليبنكوت Sara Lippincott في ٢١ و ٢٦ يوليو ٢٠٠٠، http : // oralhistories. Library. Caltech. Edu/ 116/01/ Schwarz_ OHO. Pdf.

٢- M. B. Green and J. H. Schwarz, "Anomaly Cancellations in Supersymmetric D-10 Gauge Theory and Supperstring Theory," Phys. Lett. B, 149 (1-3): 117-22 (1984).

٣- مقابلة مع شوارز.

٤- Thomas S. Kuhn, The Structure of Scientific Revolutions (Chigago: Univ. of Chicago Press, 1962).

٥- S. Mandelstam, "The N-loop String Amplitude – Explicit Formulas, Finiteness and Absence of Ambiguities," Phys. Lett. B, 277(1-2): 82-88 (1992).

٦- P. Candelas et al., "Vacuum Configurations for Superstrings," Nucl. Phys. B, 258(1): 46-74 (1985).

٧- A. Strominger, "Superstrings with Torsion," Nucl. Phys. B, 274(2): 253-84 (1986).

٨- In P. C. W. Davies and Julian Brown, eda., Superstrings: A Theory of Everything (Combridge, U. K.: CFombridge Univ. Press, 1988), pp. 194-95.

٩- Sheldon L. Glashow and Ben Bova, Interactionsz; A Journey Through the Mind of a Particle Physist (New York: Warner Books, 1988), p. 25.

١٠- L. Smolin, "Did the Universe Evove?" Class, Quant. Grav,. 9(1): 173-91 (1992).

٩ـ الثورة رقم اثنين

١- E. Witten, "String Theory Dynamics in Various Dimensions," hep-th/ 9503124, Nucl. Phys. B, 443:85-126 (1995).

٢- C. M. Hull and P. K. Townsend, "Unity of Superstring Dualities," hep-th/ 9410167, Nucl. Phys. B. 438:109-37 (1994).

٣- J. Polchinski, "Dirichlet Branes and Ramond-Ramond Charges,> Phys. Rev. Lett., 75 (26): 4724-27 (1995).

٤- J. Maldacena, "The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity," hep-th / 9711200, Adv, Theor. Math. Phys., 2:231-52 (1998), Int. J. Theor, Phys., 38: 1113-33 (1999),

٥- A. M. Polyakov, "A Few Projects in String Theory," hep-th / 9304146.

٦- B. de Wit, J. Hoppe, and H, Nicolai, " On the Quantum-Mechanics of Supermembranes," Nucl. Phys. B. 305(4):545-81 (1988).

٧- T. Banks, W. Fischler, S. Shenker, and L. Susskind, "M-Theory as a Matrix Model: A Conjecture," Phys. Rev> D, 55(8): 5112-28 (1997).

١٠- نظرية أي شيء

١- أجرى أرصاد السوبرنوفا سول بيرلماتير وزملاؤه في مختبر لورانس بيركلي وروبرت كيرشنر وزملائه في فريق أبحاث سوبرنوفا Z المرتفعة.

٢- E. Witten, "Quantum Gravity in de Sitter Space," hep-th /0106109. ويستمر ويتين في القول، "هذا التصريح الأخير لا يثير الدهشة إذا عرفنا أن فرضية كلاسيكية لا تعمل. لأنه، من وجهة نظر المشاكل العادية في موازنة المعاملات، من الصعب الحصول على مكان سيتير بطريقة جديرة بالثقة عند المستوى الكمي مع معرفة أنه لا يظهر بشكل تقليدي".

٣- S. Kachru, R. Kallosh, A. Linde, and S. Trivedi. "De Sitter Vacua in String Theory," hep-th /0301240.

٤- انظر، على سبيل المثال T. Hertog, G. T. Horowitz, and K. Maeda, "Negative Energy Density in Calabi-Yau Compatifications," hep-th / 0304199,Jour. High Energy Phys., 0305:60(2003).

١١- الحل المرتبط بالإنسان

١- L. Susskind, "The Anthropic Landscape of String Theory," hep- th/ 0302219.

٢- S. Weinberg, "Anthropicf Bound on the Cosmological Constant," Phys. Rev. Lett., 59(22):2607-10 (1987).

٣- L. Smolin, "Did the Universe Evolve?" Class. Quant. Grav., 9(1): 173-91 (1992).

٤- Weinberg, "Living in the Multiverse," hep-th /0511037.

٥- من استطلاع حديث أجرته مجلة سيد Seed على العلاقة بين المبدأ الإنساني وتضاعف نظرية الأوتار، http://www. Seedmagazine. Com/ news/ 2005/12/surveying_ the _ landscape.

٦- E. J. Copeland, R. C. Myers, and J. Polchinski, "Cosmic F- and D-Strings," Jour. High Energy Phys., Art. No. 013, June 2004.

٧- M. Sazhin et al., "CSL-1: Chance Projection Effect or Serendipitous Discovery of a Gravitational Lens Induced by a Cosmic String?" Mon. Not. R. Astron. Sec., 343:353- 59 (2003).

٨- N. Arkani-Hamed, G. Dvali, and S. Dimopoulos, "The Hierarchy Problem and New Dimensions at a Millimeter," Phys. Lett. B, 429:263-72 (1998)

٩- L. Randall and R. Sundrum, "An Alternative to Compactification," hep –th / 9906064, Phys. Rev. Lett., 83:4690-93 (1999).

١٢- ما توضحه نظرية الأوتار

١- بالمصطلحات التقنية، يتضمن التماثل الفائق أن هناك مجال آسر يشبه الزمن أو يشبه الضوء في هندسة الزمكان. يتضمن وجود تماثل في الزمن، لأن جبر التماثل الفائق (بلغة التقنية) ينغلق على الهاملتونية.

الطريقة الأخرى للقول بهذا هو أن التماثل الفائق يتطلب برّام آسر، وهو ما يتضمن عدم وجود متجه أو متجه آسر يشبه الزمن.

٢- E. D`Hoker and D. H. Phong, Phys. Lett. B, 529:241-55 (2002), hep-th/0110247.

٣- D. Friedan, "A Tentative Theory of Large Distance Physics," hep –th /0204131.

٤- D. Karabali, C. Kim, and V. P. Nair, Phys. Lett. B, 434:103-9 (1998), hep- th /9804132, R. G. Leigh, D. Minic, and A. Yelnikov, hep-th /0604060. ولتطبيقات الأبعاد ٣+ ١ انظر L. Freidel, hep- th /0604185.

٥- في The Road to Reality (2005) يرى روجر بينروز أن أغلب الفضاءات المدمجة التي تلتف بها الأبعاد الإضافية سوف تنهار بسرعة إلى مفردات. لتوضيح ذلك، طبق على الزمكان خلفيات نظريات الأوتار هذه الفرضيات التي طورها مع هاوكينج لتوضيح أن النسبية العامة تتنبأ بمفردات في الحلول الكونية. بقدر معرفتي، صمدت حججه. وهي تصح فقط عند المستوى التقليدي للتقريب، لكن هذا هو التقريب الوحيد الذي يمكن من خلاله أن ندرس تطور الزمن لخلفيات زمكان في نظرية الأوتار. ولذلك، تعتبر نتيجة بينروز بمصداقية الحجج التي تقنع علماء نظرية الأوتار بوجود مشهد نظريات الأوتار.

٦- مقتطف من Amanda Gefter, "Is String Theory in Trouble?" New Scientist, Dec. 17, 2005.

١٣ـ مفاجآت من العالم الحقيقي

١- غالبا ما تكون تلك هي الحالة ألا تكون النتائج التجريبية المدهشة قد ثبتت صحتها بينما يكرر علماء تجارب آخرون التجربة. هذا لا يعني أن شخصًا ما غشاش. التجارب على حافة ما هو ممكن يكون من الصعب دائمًا على وجه التقريب تكرارها، ومن الصعب عادة فصل الضوضاء عن الإشارة ذات المعنى. ويحتاج الأمر غالبًا إلى سنوات كثيرة ومحاولات كثيرة بواسطة أشخاص مختلفين قبل فهم كل مصادر الخطأ في نوع جديد من التجارب والتخلص من هذه الأخطاء.

٢- بالتعبير عنه قياسًا بالمقياس R، يساوي الثابت الكوني $1/R^2$.

٣- K. Land and J. Magueijo, "Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anistropy," Phys. Rev. Lett,. 95:071301 (2005).

٤- نفس المصدر.

٥- M. Milgram, "A Modification of the Newtonian Dynamics as a Possible Alternative to the Hidden Mass Hypothesis," Astrophys. Jour., 270(2): 365-89 (1983).

٦- كل المزيد من المعلومات حول MOND والبيانات التي تدعمها، بالإضافة إلى المراجع، متاحة في www. Astro, umd. Edu/ ~ssm/mond/.

٧- J. D. Anderson et al., "Study of the Anomalous Acceleration of Pioneer 10 and 11," gr-qc /0104064.

٨- M. T. Murphy et al., "Further Evidence for a Variable Fine Structure Constant from Keck/ HIRES QSQ Absorbtion Spectra," Mon. Not. Roy. Ast. Soc,. 345:609-38 (2003).

٩- انظر، على سبيل المثال، E. Peik et al., "Limit on the Present Temporal Variation of the Fine Structure Constant," Phys. Rev. Lett., 93(17):170801 (2004), and R. Srianand et al., "Limits on the Time Variation of the Electromagnetic Fine Structure Constant in the Low Energy Limit from Absorption Lines in the Spectra of Distant Quasars," Phys. Rev. Lett,. 92(12):121302 (2004).

١٠- K. Greisen, "End to the Cosmic-Ray Spectrum?" Phys. Rev. Lett., 16(17):748-50 (1966), and G. T. Zatsepin and V. A. Kuzmin, "Upper Limit of the Spectrum of Coamic Rays," JETP Letters, 4:78-80 (1966).

١١- S. Coleman and S. L. Glashow, "Cosmic-Ray andNeutrino Tests of Special Relativity," Phys. Rev. B, 405:249-52 (1997), Coleman and Glashow, "Evading the GZK Cosmic-Ray Cutpff," hep-ph/9808446.

١٤ـ الاعتماد على أينشتاين

١- G. Amelino-Camelia, "Testable Scenario for Relativity with Minimum-Lenth," hep-th /0012238.

٢- Joao Magueijo, Faster Than the Speed of Light: The Story of a Scientific Speculation (New York: Perseus Books, 2003).

٣- Vladimir Fock, The Theory of Space, Time, and Gravitation (London: Pergamon Press, 1959).

٤- L. Friedel, J. Kowalski-Glikman, and L. Smolin, "2 + 1 Gravity and Doubly Special Relativity," Phys. Rev. D., 69:044001 (2004).

٥- E. Livine and L. Friedel, "Ponzano-Regge Model Revisited III: Feynman Diagrms and Effective Field Theory," hep- th /0502106, class. Quant. Grav., 23:2021-62 (2006).

٦- Florian Girelli and Etera R. Livine, "Physics of Deformed Special Relativity," gr- qc /0412079.

١٥ـ الفيزياء بعد نظرية الأوتار

١- A. Ashtekar, "New Variables for Classical and Quantum Gravity," Phys. Rev. Lett,. 57(18):2244-74 (1986).

٢- http : / online. Kitp.ucsb,edu/ online/kitp25/witten/oh/10.html.

٣- لم يكن هذا دائمًا هو الاعتقاد السائد، والفضل في مناصرة دور السببية يعود إلى روجر بينروز، ورافئيل سروكين، وفاي دوكر، وفوتيني ماركبولو.

٤- انظر، على سبيل المثال، R. Loll, J. Ambjorn, and J. Jurkiewicz, "The Universe from Scratch," heo- th /0509010.

٥- انظر، على سبيل المثال، Alain Connes, Noncommutative Geometry (San Diego: Academic Press, 1994).

٦- الشرائط السمعية متوفرة في http : // www. Perime terinstitute. Ca/activities/scientific/cws/evolving_laws/.

7. See, for example, C. Rovelli, "Graviton Propagator from Background-Independent Quantum Gravity," gr-qc/0508124.

8. S. Hofmann and O. Winkler, "The Spectrum of Fluctuations in Singularity-free Inflationary Quantum Cosmology," astro-ph/0411124.

9. F. Markopoulou, "Towards gravity from the quantum," hep-th/0604120.

10. S. O. Bilson-Thompson, "A Topological Model of Composite Preons," hep-ph/0503213.

11. S. O. Bilson-Thompson, F. Markopoulou, and L. Smolin, "Quantum Gravity and the Standard Model," hep-th/0603022.

12. Audiotapes of the discussions are available at http://www.perimeterinstitute.ca/activities/scientific/cws/evolving_laws/.

١٦- كيف تحارب علم الاجتماع؟

١- www. Cosmicvariance. Com /2005/ 11/18/a-particle-physicists-perspective.

٢- رسالة مجهولة على http : // groups. Google. Com/group/sci.physics.strings/ by String Theorist. Oct. 9, 2004.

٣- Guardian Unlimited, Jan. 20, 2005.

٤- عن أبحاثي التي تتساءل حول نتيجة أو أخرى لنظرية الأوتار، تلقيت ثلاث إجابات فيها يشير المرسل إلى الجماعة "القوية" للنظرية. كما في "بينما قد لا يكون قد تم إثبات المحدودية المرتبكة (أو حدث مالداسينا، أو ازدواجية S) لا يعتقد أي أحد في جماعة نظرية الأوتار أنها قد تكون خاطئة". المرة الواحدة قد تكون صدفة، أما ثلاثًا فتلك زلة فرويدية تقليدية. إلى أي مدى يكون علم اجتماع نظرية الأوتار هو مجرد الرغبة البشرية المميزة تمامًا في أن يكون المرء جزءًا من الجماعة الأقوى هنا وهناك؟

٥- S. Kachru, R. Kallosh, A. Linde, and S. Trivedi, "DE Sitter Vacua in String Theory," hep-th /0301240.

٦- http : // groups.google. com /group/sci.physics.strings/, April 6, 2004.

٧- L. Smolin, "Did the Univese Evolve?" Class. Quant. Grav., 9:173-91 (1992).

٨- www. Dam. Ac.ir/IPM/news/cones-interview.pdf (يتم استخدامه بإذن).

٩- Michael Duff, Physics World, Dec. 2005.

١٠- www. Damtp. Cam.ac.uk/user/gr/public/qg_ss.html.

١١-مع ذلك، أنا سعيد بالقول بأنه ليس من الصعب العثور على مقدمات على شبكة المعلومات لنظرية الأوتار لم تقم بتشويهه أو المبالغة في المزاعم. وهنا بعض من الأمثلة: http: // tena4.vub. ac.be/beyondstringtheory/index.html, http: //www. Sukidog.com/jpierre/strings/, http: //en.wikipedia. org/wiki/M-theory.

١٢- S. Mandelstam, "The N-loop String Amplitude- Explicit Formulas, Finiteness and Absence of Ambiguities," Phys. Lett. B, 277(1-2): 82-88 (1992).

١٣-ها هي بضعة أسئلة: J. Barbon, hep-th/0404188, Eur. Phys. J., C33:s74 (2004), S. Foerste, hep-th /0110055, Fortsch. Phys., 50:221-403 (2002), S. B. Giddings, hep-th/0501080, و I. Antoniadis and G. Ovarlez, hep-th/9906108. والمثال النادر لمراجعة مع مناقشة متأنية وصحيحة (في ذلك الوقت) لقضية

المحدودية هو L. Alvarez-Gaume and M. A. Vazquez-Mozo, hep-th/9212006.

١٤-هذا بحث لأندري مارشاكوف (Phys. Usp., 45:915-54 (2002), hep-th/0212114). وأعتذر عن اللغة التقنية، لكن ربما يمكن للقارئ أن يرى الفكرة من ذلك:

لسوء الحظ فإن ادعاء الأوتار الفائقة في العشرة أبعاد بأنه النموذج الأكثر نجاحًا بين نماذج الوتر الموجودة، يتم تحديده بالضبط، بشكل عام، فقط عند مستويات شجرة وأنشوطة واحدة. بداية من تصحيحات الأنشطوتين إلى القيم المتناثرة فإن كل التعبيرات في نظرية الأوتار الفائقة المضطربة لم يتم تعريفها بالفعل. وسبب ذلك يعود إلى المشاكل المعروفة جيدًا بالنسبة إلى الهندسة الفائقة أو التكامل على "الشركاء الفائقين" لمعاملات البنى المعقدة. وبعكس الحالة البوزونية حيث قياس التكامل ثابت بفرضية بيلافين-كنيزنيك، فإن تعريف قياس التكامل على المعاملات الفائقة (أو، بدقة أكثر، المعاملات الغريبة للبنى فائقة التعقيد) هو مشكلة لم يتم حلها بعد [88, 22]. معاملات فضاءات البنى المعقدة لأسطح ريمان غير مدمجة، والتكامل على مثل هذه الفضاءات يتطلب عناية خاصة وتعريفات إضافية. في الحالة البوزونية، عندما تكون التكاملات على معاملات الفضاءات متباعدة، يتم تعريف نتيجة التكامل في (3.14) فقط حتى "نهايات حدية" (مساهمات أسطح ريمان المنحرفة أو أسطح التصنيفات السفلى (بـ "تدبيرات" أقل). في حالة الوتر الفائق نلتقي بمشاكل أكثر

جادية حيث إن كل مفهوم لـــ "حد فضاء المعاملات" لم يتم تعريفه. بالفعل التكامل على المتغيرات الغريبة لجراسمان لا "تعرف" ما هي النهاية الحدية. وهذا سبب أساسي لعدم تعريف قياس التكامل للوتر الفرميوني بشكل جيد ويعتمد على "اختيار القياس" أو اختيار خاص لـــ "القيم صفر" في العمل (3.23). لمساهمات الأنشوطتين يمكن حل هذه المشكلة "تجريبيًا" (انظر [88, 22])، لكن في التركيبة العامة لنظرية اضطراب الوتر الفائق فلا يتم تعريفها رياضيًا بشكل جيد. ويضاف إلى ذلك، ليست هذه مشاكل شكلية: نفس العقبات تظهر في المقاربة الأقل هندسية لجرين وشوارتز [91].

١٥- في ما يلي بريد إلكتروني من ماندلستام، يعود إلى ٨ يونيو ٢٠٠٦:

بالنسبة إلى بحثي عن محدودية سعة وتر n الأنشوطة، دعني أولاً ألاحظ أن التباعد يمكن أن يحدث فقط حيث تنهار معاملات المكان. فحصت نقاط الانهيار المصاحبة لانحراف "التمدد"، وهي ما كان يهتم به علماء نظرية الأوتار. أوضحت أن الأدلة التي تم تطبيقها سابقًا على سعة أنشوطة واحدة يمكن مدها إلى سعة n أنشوطة، وأيضًا أن الالتباسات المصاحبة لتعريف كنتور التكامل على الحدود الفائقة الزوجية يمكن حلها باستخدام وصفة فريدة تتسق مع التوحيد. أوافق على أن ذلك لا يقدم برهانًا دقيقًا جدًا على المحدودية. لم أفحص مصدرًا آخر للانهائيات، معروف من الأيام المبكرة للنماذج الثنائية، أي استخدام الزمن الخيالي. يعتقد المرء بالأسس الفيزيائية أن مثل هذه اللانهائيات يمكن إزالتها بالتحليل المتواصل للزمن الحقيقي. لقد تم توضيح ذلك بجلاء لسعة الصفر والأنشوطة الواحدة، وتم توضيح

أن التحليل المتواصل يؤدي إلى محدودية يمكن تحديدها بالنسبة لسعة أنشوطتين.

١٦- G. T. Horowitz and J. Polchinski, "Gauge/gravity duality." Gr-qc/0602037. سيظهر في Towards Quantum Gravity, ed. Daniele Oriti, Cambridge University Press.

١٧- :http //golem.ph.utexas.edu/~distler/blog/archives/000404.html.

١٨- Irving Janis, Victims of Groupthink: A Psychological Study of Forein-Policy Decsions and Fiascoes (Boston: Houghton Mifflin, 1972) p. 9. بالطبع الظاهرة أقدم من ذلك. ويسميها جون كينيث جالبريث، عالم الاقتصاد ذو النفوذ، "الحكمة التقليدية". ويعني بذلك "الآراء التي، وإن لم يتم تأسيسها جيدًا بالضرورة، يتم التمسك بها على نطاق واسع بين الأغنياء وأصحاب النفوذ الذين يخاطر المتهورون والحمقى فقط بمهنهم بأن يختلفوا معهم في الرأي". (من مراجعة كتاب في Financial Times, Aug. 12, 2004).

١٩- Irving Janis, Crucial Decisions: Leadership in Policymaking and Crisis Management (New York: Free Press, 1989), p. 60.

٢٠- http: // oregonstate.edu/instruct /theory/grpthink.html.

٢١- المثال الآخر عن البرهان الضخم لعدم وجود متغيرات خفية في النظرية الكمية، الذي نشره جون فون نيومان في ١٩٣٢، والذي تم ذكره على نطاق واسع لثلاثة عقود قبل أن يتوصل عالم النظرية الكمية دافيد بوم إلى نظرية المتغيرات الخفية.

١٧ـ ما العلم

١- انظر Paul Feyerbend, Killing Time: The Autobiography of Paul Feyerabend (Chicago: Univ. of Chicago press, 1996).

٢- انظر على سبيل المثال، Karl Popper, The Logic of Scientific Discovery (New York: Routledge, 2002).

٣- Thomas S. Kuhn, The Structure of Scientific Revolutions (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1962).

٤- Imre Lakatos, Proofs and Refutations (Cambridge, U. K.: Cambridge Univ. Press, 1976).

٥- ليونارد ساسكايند، في دفاعه عن صحة التفكير المنطقي الإنساني، أطلق على نقاده صحافي متلصص Popperazzi، لاستحضار الحاجة إلى بعض وسائل الدحض. لكن أحد الجوانب قبول نقاد بوبر القائلين بأن الدحض هو جزء واحد فقط من قصة كيفية نجاح العلم، والجانب الآخر هو الدفاع عن القبول على أساس علمي لنظرية ما لا تقدم أية تنبؤات فريدة أو خاصة يمكن عن طريقها إما دحض أو إثبات النظرية. في ما يتعلق بهذا، أفخر بأنني صحافي متلصص.

٦- Alexander Marshack, The Roots of Civilization: The Cognitive Beginings of Man`s First Art, Symbol and Notation (New York: McGraw-Hill, 1972).

٧- D. H. Wolpert, and W. G. Macready, No Free Lunch Theorems for Search, Technical Report, Santa Fe Institute, SFI-TR-95-02-010.

٨- Richard P. Feynman, "What Is Science?" The Physics Teacher, Sept. 1969.

١٨ـ المستبصرون والحرفيون

١- مقتطف من Simon Singh, "Even Einstein Had His Off Days," New York Times, Jan. 2, 2005.

٢- انظر، على سبيل المثال، Mara Beller, Quantum Dialogue: The Making of a Revolution (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1999).

٣- Thomas S. Kuhn. The Structure of Scientific Revolutions (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1962).

٤- A. Einstein to R. A.، خطاب غير منشور يعود إلى ٧ ديسمبر ١٩٤٤، (EA 6-574). Einstein Archive, Hebrew University, Jerusalem. مقتطف من Don Howard, "Albert Einstein as a Philosopher of Science," Physics Today, Dec. 2005.

٥- T. Jacobson and L. Smolin, "Nonperturbative Quantum Geometries," Nucl. Phys. B, 229:295-345 (1988).

٦- انظر، على سبيل المثال، L. Crane, "Clock and Category: Is Quantum Gravity Algebraic?" gr-qc/9504038, J. Math. Phys., 36:6180-193 (1995).

٧- انظر، على سبيل المثال، F. Markopoulou, "An Insider`s Guide to Quantum Causal Histories," hep-th/9912137, Nucl. Phys. B, Proc. Supp., 88(1): 308-13(2000).

٨- Seth Lloyd, Programming the Universe: A. Quantum Computer Scientist Takes On the Cosmos (New York: Alfred A. Knopf, 2006).

٩- عليّ هنا التأكيد من جديد على أنني أتحدث فقط عن أشخاص لديهم تدريب جيد خلال طريقهم إلى الحصول على دكتوراه الفلسفة. ليست هذه مناقشة حول الدجالين أو الأشخاص الذين لا يفهمون ماهية العلم.

١٠- L. Smolin, "On the Nature of Quantum Fluctuationa and Their Relation to Gravitation and the Principle of Inertia," Class. Quant. Grav., 3:347-59 (1986).

١١- Julian Barbour, The End of Time: The Next Revolution in Physics (New York: Oxford Univ. Press, 2001).

١٢- D. Finkelstein, "Past-Future Asymmetry of the Gravitational Field of a Point Particle," Phys. Rev.. 110:965-67 (1958).

١٣- Antony Valentini, Pilot-Wave Theory of Physics and Cosmology (Combridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, in Press).

١٤- في ما يلي جزء من خطاب من مؤسسة العلم القومية إلى عالم الفيزياء في جامعة نوتر دام جيمس كاشينج في ١٩٩٥، رافضة اقتراحه لدعم عمله حول أسس نظرية الكم:

الموضوع في الاعتبار، وتمت مناقشة تفسيرات كوبنهاجن والسببية [بوم] المنافسة عن نظرية الكم سنوات كثيرة في رأي عدة أعضاء من قسم الفيزياء في NSF، واستقر الموقف. التفسير السببي يتسق مع

التجارب التي اختبرت تفاوتات بيل. وتبعًا لذلك... تمويل... برنامج أبحاث حول هذه الفكرة قد يكون غير حكيم.

الشيء الجدير بالانتباه حول هذا الخطاب هو أنه يحتوي على خطأ أولي، حيث إنه كان من المفهوم بشكل جيد للخبرات عندئذ أن التفسير السببي يتسق تمامًا مع التجارب التي تختبر تفاوتات بيل. وبالمناسبة، كان كاشينج عالم فيزياء جسيمات أولية ناجح قبل انتقال اهتماماته إلى أسس نظرية الكم، لكن هذا لم يمنع NSF من التوقف عن تمويله.

١٥- D. Deutsch, Proc. Roy. Soc. A, 400:97-117 (1985).

١٦- David Deutsch, The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes and Its Implications (London: Penguin, 1997).

١٧- P. W. Shor, "Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer," quant-ph/9502807.

١٨- A. Valentini, "Extreme Test of Quantum Theory with Black Holes," astro-ph/041250s.

١٩- Alexander Grothendieck, Recoltes et Semailles, 1986, English translation by Roy Lisker, www. Grothendieck-circle. Org.chapter2.

١٩- كيف يعمل العلم بالفعل

١- هناك استثناء سيئ الحظ لهذا، وهو عندما يصاب بروفيسور بالفزع من نفسه الأكثر شبابًا ويكون قد تخلي عن روحه الشابة التي تركب

المخاطر من أجل العلم المحافظ. تذكير شخص مثل هذا بنفسه الأكثر شبابًا ليست فكرة جيدة بشكل عام.

٢- انظر على سبيل المثال، "A Study on the Status of Women Faculty in Science at MIT," vol. XI, no. 4, March 1999, وهو متاح على موقع http : //web. Mit.edu/fnl/women/women. Html. والمزيد من المعلومات حول قضايا النساء في العلم متاحة من الجمعية الفيزيائية الأمريكية على http : //www. Aps.org/educ/eswp/ ومن لجنة Faculty Diversity في جامعة هارفارد على موقع http : //www.aps.org./educ/eswp.

٣- James Glanz, "Even Without Evidence, String Theory Gains Influence," New York Times, March 13, 2001.

٤- Gary Taubes, Nobel Dreams: Power, Deceit and the Ultimate Experiment (new York: Random House, 1986), pp. 254-55.

٥- Esador Singer, من مقابلة تم نشرها على موقع http : //www. Abel-prison. No/en/prisvinnere/2004/interview_2004_1.html

٦- Alain Connes, interview موجود على موقع www. Ipm.ac.ir/IPM/news/cones-interview.pdf.

شكر

يبدأ الكتاب بفكرة، والفضل في ذلك يعود إلى جون بروكمان لأنه أدرك أنني كنت أرغب في شيء أكثر من كتابة كتاب دراسي أكاديمي عن العلاقة بين الديمقراطية والعلم. هذا موضوع رئيسي في هذا الكتاب، لكن، كما تنبأ، فإن الحجة تكون أكثر قوة بكثير عندما يتم تقديمها في سياق جدال عملي محدد. وأنا مدين له ولكاتينكا ماتسون لدعمهما المستمر ولدعوتهما لي في الجماعة التي تشكل الثقافة الثالثة. وباقتراحهما عليّ سياقًا يذهب إلى ما هو وراء تخصصي، غيرا حياتي.

لم يحصل أي كاتب على محرر أفضل من أماندا كون، إلى حد أن أي شيء يوجد هنا يعود إلى توجيهها وتدخلاتها من المحرج الاعتراف به. وأنهت سارا ليبينكوك العمل بأناقة وإتقان قد ينبهر به أي كاتب. كان لي الشرف بالعمل مع كليهما. هولي بيميس، وويل فينسنت، وكل شخص في هوفتون ميلفين اعتنى بهذا الكتاب بحماس ومهارة.

خلال العقود الماضية، كان الكثير من الزملاء قد تمهل في تعليمي حول نظرية الأوتار، والتماثل الفائق، وعلم الكون. من بينهم أنا ممتن بشكل خاص لنيما أركاني-حامد، وتوم بانكس، ومايكل دين، وجاك ديستلر، ومايكل جرين، وبريان جرين، وجاري هروفيتز، وكليفورد جونسون، ورينانا كالوش، وجوان مالداسينا، ولوبوس موتل، وهرمان نيكولاي، وأماندا بيت، ومايكل بيكين، وحو

بولشنسكي، وليزا راندال، ومارتن ريس، وجون شوارز، وستيف شينكر، وبول شتاينهاردت، وكيلوج ستيل، وأندرو سترومنجر، وليونارد ساكايند، وكومران فافا، وإدوارد ويتين لوقتهم وصبرهم. لو أننا لا نزال نختلف في الرأي، آمل أن من الواضح أن هذا الكتاب ليس كلامًا نهائيًا لكنه حجة تم بناؤها بعناية، مقصود منها أن تكون مساهمة في حوار متنام تمت المبادرة به باحترام وخارج الإعجاب بجهودهم. لو اتضح أن العالم بأحد عشر بعد وفائق التماثل، سأكون أول من يثني على انتصارهم. لكن حتى الوقت الراهن، أشكرهم مقدمًا للسماح لي بتفسير سبب أنني، بعد كمية كبيرة من التفكير، لم أعد أعتقد أن هذا هو المرجح.

ليس هذا تاريخ متبحر، لكنني أحكي القصص، ولقد أعطى الكثير من الأصدقاء والزملاء وقتهم بسخاء لمساعدتي في حكي قصص حقيقية بدلاً عن تخليد الأساطير. جوليان باربور، وجو كريستيان، وهاري كولنز، وجون ستاشيل، وأندري ستارينيتس أعطوني ملاحظات تفصيلية متبحرة على مجمل المخطوطة. والأخطاء الباقية هي، بالطبع، مسئوليتي وحدي، كما هي عواقب الاختيارات التي تمت لجعل الكتاب سهل المنال بقدر الإمكان. سوف يتم وضع التصحيحات والمزيد من الأفكار على صفحة شبكة المعلومات المتصلة بهذا الكتاب. الأصدقاء الآخرون والعائلة الذين قرأوا هذه المخطوطة وقدموا انتقادات مفيدة جدًا منهم كليف بارجيس، وهوارد بارتون، ومارجريت جيلر، وجوام جوميس، ودينا جراسر، وستوارت كوفمان، وجارون لانييه، وجانا ليفين، وجوو كاجوجو، باتريشيا مارينو، وفوتيني ماركوبولو، وكارلو

روفيلي، وميشيل سمولين، وباولين سمولين، وروبرتو مانجابيرا أنجر، وأنطوني فالينتيني، وإريك وينشتاين، وكريس هال، وجو بولشينسكي، وبيير راموند، وجورج راسو، وموش روزالي، وجون شفارز، وأندرو سترومنجر، وأركادي تسيتلين ساهموا أيضًا في توضيح حقائق وقضايا محددة.

لعدة سنوات تم دعم بحثي بصورة مريحة بواسطة مؤسسة العلم القومية، التي أظل ممتنًا لها جدًا. لكنني كنت محظوظًا بشكل غير عادي أن أقابل شخصا سألني، "ما الذي تحب بالفعل عمله؟ ما الفكرة الأكثر طموحًا وجنونًا؟". عندئذ بشكل غير متوقع وبسخاء، أعطاني جيفري إبشتاين الفرصة لمحاولة لإعطاء إجابات مناسبة، ولهذا سأكون ممتنًا بقوة وباستمرار.

هذا الكتاب جزئيًا حول القيم التي يجب أن تحكم الجماعة العلمية، وكنت محظوظًا لتعلم ما يخصني من بعض هؤلاء الذين قادوا البحث في الزمكان الكمي: ستانلي ديسير، ودافيد فنكلشتاين، وجيمس هارتل، وشريس إسهام، وروجر بينروز. لم أكن لأصل إلى هذا البحث إذا لم يكن ذلك بتعاون ودعم أبهاي أشتيكار، وجوليان باربور، ولويس كرين، وتيد جاكوبسون، وكارلو روفيلي. أنا أيضًا مدين لمساعدي الحاليين ستيفن ألكسندر، ومحمد أنصاري، وأولاف دريير، وجيرزي كوفالسكي-جليكمان، وجوو ماجويجو، وبشكل خاص فوتيني ماركبولو، للانتقادات المستمرة والتحديات التي حافظت عليّ منصفًا ومنعت أي إغراء للتعامل مع نفسي بجدية شديدة. يجب أن يُقال أيضًا إن عملنا لم يكن ليكتسب معنى بدون الجماعة الأوسع لعلماء الفيزياء، وعلماء الرياضيات، والفلاسفة الذين تجاهلوا الموضة الأكاديمية لتكريس

أنفسهم للعمل على المشاكل الأساسية في الفيزياء. هذا الكتاب مكرس لهم، في معظم الأحوال.

كان عملي وحياتي ليفتقران بدون دعم الأصدقاء الذين جعلوا في استطاعتي إنجاز العلم وفهم سياقه الأكبر. ومنهم سانت كلير سيمين، وجارون لانييه، ودونا مويلان، وإليزابيث تورك، وميلاني ووكر.

كل كتاب تتم كتابته بروح المكان. بالنسبة لي كانت هذه الأماكن اثنين هما نيويورك ولندن. يحمل هذا الكتاب روح تورونتو، التي يطلق عليها بيكو إيير مدينة المستقبل، وأعد نفسي محظوظًا بمعرفة السبب. للترحيب بمهاجر في اللحظة المتقلبة في سبتمبر ٢٠٠١، أرغب في شكر، فوق كل شيء، دينا جراسير وأيضًا شارلي تراسي ماكدوجال، وأوليفيا ميزي، وهانا سانشيز، والأشخاص في نادي أوتر هاربر سنتربورد (إذا لم ترني خارجًا في المياه كثيرًا في الربيع الماضي، هذا هو السبب!).

لتشجيع نفسي هنا، يجب أن أشكر هووارد بارتون وميك لازاريديس. لا أعرف عمل بصيرة ودعم للعلم أعظم من تأسيسهم لمعهد بيريميتر للفيزياء النظرية. ولإيمانهم بمستقبل العلم وحبهم الشديد لنجاح المعهد، يستحقون أعلى مديح يمكن لمن يهتم بالعلم أن يقدمه. أدين لهم بشكل هائل للفرصة التي أتاحوها لي، بشكل شخصي وعلمي.

من أجل كل المغامرات والتحديات المشتركة في إنشاء هذا المعهد والجماعة، كل الشكر الممكن لكليفورد بارجيس، وفريدي كاشازو، ولورنت فريديل، وجوام جوميس، ودانييل جوتسمان، ولوشيان هاردي، وجوستين

كوري، ورايموند لافلام، وفوتيني ماركوبولو، ومايكل موسكا، وروب مايرز، وتوماس ثيمان، وأنطوني فالنتيني، وكثيرون عديدين بحيث لا يمكن حصرهم أولئك الذين خاطروا بمهنهم للمساهمة في هذه المغامرة. ورغم عدم الحاجة إلى ذكر ذلك، دعني أؤكد على أن كل كلمة في هذا الكتاب هي وجهة نظري الخاصة ولا تعكس بأية طريقة أي وجهات نظرية رسمية أو غير رسمية لمعهد بيريميتر، أو لعلمائه، أو لمؤسسيه. بالعكس، أصبح هذا الكتاب ممكنا بعضويتي في جماعة العلماء الذين يحتفون بالمعارضة العلمية المخلصة، والذين يعرفون أن الحوار المنتعش لا يحتاج إلى إجرائه على طريقة الصداقة أو الدعم المتبادل في جهودنا لإنجاز العلم. لو كان هناك المزيد من الأماكن المتعددة مثل بيريميتر، لكنت قد شعرت بالحاجة إلى كتابة هذا الكتاب.

أخيرًا، لوالدي، لحبهما المتنامي غير المشروط ولدعمهما لي، وإلى دينا، لكل شيء يجعل الحياة متعة، والذي وضع كل ما تضمنه هذا الكتاب في منظوره الصحيح.

قائمة مصطلحات

خوارزمية algorithm: طريقة مقننة في الرياضيات.

مذهب الخلق creationism: الإيمان بأن ما يذكره سفر التكوين عن بدء الخليقة صحيح حرفيًا.

قبعة الغبي dunce cap: قبعة ورقية شبيهة بمخروط كانت توضع على رأس طالب كسول أو بطيء الفهم.

نظرية الكهروضعيفة electroweak theory: تقول بأن القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة هما القوة الكهروضعيفة، وتبدوان مختلفتين إلا في الطاقات الأعلى. وقد أدت هذه النظرية إلى اكتشاف بوزونات w وZ.

فلك التدوير epicycle: في فلك بطليموس هو دائرة صغيرة يتحرك مركزها على محيط دائرة أكبر مركزها الأرض ويحدد محيطها مدار كوكب حول الأرض.

الأثير ether: مادة مفترضة، شفافة، عديمة اللون

والوزن، اعتقد خلال القرن التاسع عشر أنها تملأ الفضاء وتشكل الوسط الذي ينتقل عبره الضوء، مثلما ينتقل الصوت عبر الهواء. وقد واجهت فرضية الأثير مصاعب متزايدة بعد أن تم للعلماء فهم أفضل لطبيعة الضوء، ثم طُرِحت نهائيًا عندما وضع أينشتاين نظرية النسبية الخاصة في ١٩٠٥.

كلية تخرج graduate school: كلية من كليات الجامعة يتلقى فيها الطلاب دروسًا أعلى من تلك التي تقتضيها درجة البكالوريوس.

طالب التخرج graduate student: طالب في كلية من كليات التخرج.

تدفق مغناطيسي magnetic flux: العدد النهائي من الخطوط المغناطيسية للقوة المارة في نطاق محدود في المجال المغناطيسي.

معامل modulus: قيمة كمية تعتبر موجبة سواء كانت هي موجبة أو سالبة. قيمة مطلقة.

بارامتر parameter: كمية تقاس بها الأشياء (كالطول والعرض).

فينومينولوجيا phenomenology:	علم يبحث في وصف الظواهر وتصنيفها وهو عبارة عن الوصف العلمي للظواهر الواقعية مع اجتناب كل تأويل أو شرح أو تقييم.
نمط ظاهري phenotype:	مظهر المتعضي الخارجي الناشئ عن تكوينه الوراثي.
اللاهوب phlogiston:	مادة كيميائية وهمية كان يعتقد قديمًا أنها مقوم أساسي من مقومات الأجسام الملتهبة.
بلازما plasma:	غاز مؤين: غاز عالي الأيونية يحتوي على أعداد متساوية من الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة.
كوازار quasar:	أو النجم الزائف: جسم يشبه النجم وله محور أحمر ويصدر عنه ضوء أزرق قوي وموجات إذاعية.
الواقعية realism:	الميل نحو ما هو واقعي وعملي. وهو مذهب فلسفي حديث يعارض المثالية يقول إن المادة توجد باستقلال عن إدراكنا.
الاختزالية reductionism:	تبسيط المعطيات أو الظواهر المعقدة. وبخاصة: فرط التبسيط.

آلة روب جولدبرج Rube Goldberg contraption: أداة أو آلة للقيام بوظيفة بالغة البساطة بطريقة بالغة التعقيد تتضمن عادة تفاعلاً متسلسلاً، وتعود التسمية إلى روب جولدبرج رسام المواقف الهزلية الأمريكي (١٨٨٣- ١٩٧٠). وتم التوسع بعد ذلك في التعبير ليعني أي منظومة مربكة ومعقدة.

سوبرنوفا supernova: متجدد أعظم، ظاهرة سماوية نادرة الحدوث ينفجر فيها النجم ويظهر جسم لامع لفترة قصيرة ويصدر كمية كبيرة من الطاقة.

تيرا إلكترون فولت TeV: تساوي $١٠^{١٢}$ إلكترون فولت.

المؤلف في سطور:

لي سمولن

حصل على درجة الدكتوراه في الفلسفة في الفيزياء من هارفارد، ثم ذهب للتدريس في يال وبنسلفانيا ستيت قبل المساعدة في إنشاء معهد بيريميتر التحديثي.

وهو مؤلف "حياة الكون" و"ثلاث طرق إلى الجاذبية الكمية".

المترجم في سطور:

عزت عامر

- شاعر له ديوانان "مدخل إلى الحدائق الطاغورية" و"قوة الحقائق البسيطة" ومجموعة قصصية "الجانب الآخر من النهر"، وكتاب "شاهد ومشهود" في الفكر والفلسفة.

_ حاصل على بكالوريوس هندسة طيران جامعة القاهرة ١٩٦٩.

_ مدير مكتب مجلة "العربي" الكويتية في القاهرة.

_ محرر علمي ومترجم عن الإنجليزية والفرنسية، ينشر في العديد من المجلات والصحف العربية.

_ عمل محررًا لصفحة العلم والتكنولوجيا في صحيفة "العالم اليوم" المصرية، ومسؤولاً عن صفحة يومية وصفحة طبية أسبوعية في صحيفة "الاقتصادية" السعودية.

_ طُبع له في المجلس الأعلى للثقافة في مصر ترجمات عن الإنجليزية لكتب: "حكايات من السهول الإفريقية" لآن جاتي، و"بلايين وبلايين" لكارل ساجان"، و"يا له من سباق محموم" لفرانسيس كريك، الذي أُعيد نشره في مهرجان القراءة للجميع ٢٠٠٤، و"الانفجار العظيم" لجيمس ليدسي، و"سجون الضوء..الثقوب السوداء" لكيتي فرجاسون، و"غبار النجوم" لجون جريبين،

و"الشفرة الوراثية وكتاب التحولات" لجونسون يان. ونُشر له في المركز القومي للترجمة، ترجمة "ما بعد الواقع الافتراضي" لفيليب ريجو عن الفرنسية، و"قصص الحيوانات" لدينيس بيبير، و"أينشتاين ضد الصدفة" لفرانسوا دو كلوسيت عن الفرنسية، و"حكايات شعبية إفريقية" لروجر د. أبراهامز، و"أغنية البحر" لآن سبنسر، و"كون متميز" لروبرت لافلين، و"الخيال العلمي والفلسفة" لسوزان شنايدر.

ـ شارك في ترجمة ومراجعة مجلدي جامعة كل المعارف "الكون" و"الحياة" عن الفرنسية، طبع ونشر المجلس الأعلى للثقافة في مصر.

ـ نُشر له من داري "كلمة" و"كلمات" ترجمة "عصر الآلات الروحية" لراي كيرزويل.

ـ نُشر له في دار إلياس ترجمة لـ "من الحمض النووي إلى القمح المعدل وراثيًا" لجون فاندون، و"من قنفذ البحر إلى النعجة دوللي" لسالي مورجان، وضمن الجزء الأول لـ "النظريات العلمية ومكتشفوها" كتابي "كبلر وقوانين الحركة الكوكبية" و"نيوتن وقوانين الحركة الثلاثة".

ـ نُشر له ستة كتيبات للأطفال تحت عنوان "العلم في حياتنا" عن طريق المركز القومي لثقافة الطفل في مصر.

التصحيح اللغوى: محمد محمود

الإشـــراف الفنى: حســـن كامل